

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ

«__»_____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Екологічна біотехнологія та
біоенергетика»**

спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

**на тему: «Виробництво біогазу з відходів життєдіяльності ВРХ та
міскантусу як косубстрату»**

Виконавля:

студентка IV курсу, групи БЕ-61

Семент Анастасія Павлівна _____

Керівник:

доц., к.т.н.

Козар Марина Юріївна _____

Консультант з проектування:

проф., д.т.н.

Саблій Лариса Андріївна _____

Рецензент:

доц., к.б.н.

Клочко Віталій Вікторович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис) (ім'я , прізвище)

« ____ » _____ 2020р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Семента Анастасія Павлівна**

1. Тема проєкту «Виробництво біогазу з відходів життєдіяльності ВРХ та міскантусу як косубстрату»

керівник проєкту Козар Марина Юріївна, к.т.н., доцент,

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту: поголів'я ВРХ – 3000. Необхідна вологість субстрату для зброджування – 90%. Режим зброджування – безперервний. Спроекувати метантенк для зброджування відходів ВРХ та міскантусу.

4. Зміст пояснювальної записки: перелік умовних позначень та скорочень; вступ; розділ 1. Характеристика сировини та біогазу; 1.1. Характеристика субстрату для зброджування; 1.2. Характеристика біологічного агенту; 1.3. Характеристика отриманого біогазу; розділ 2. Основи технологічного процесу виробництва біогазу; 2.1. Схема перебігу процесу зброджування біомаси; 2.2. Необхідні умови та технологічні особливості зброджування біомаси; 2.3. Обґрунтування вибору технології ; розділ 3. Технологічна частина; 3.1. Сировина та матеріали; 3.2. Опис технологічного процесу; 3.3. Контроль виробництва; 3.4. Матеріальний баланс; 3.5. Основні технологічні розрахунки; розділ 4. Вибір і характеристика обладнання; 4.1. Типи

установок для отримання біогазу; 4.2. Підбір основного та допоміжного обладнання; розділ 5. Охорона праці та довкілля; висновки; перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема (A1), апаратурна схема (A1), метантенк (A1).

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічна частина дипломного проекту	д.т.н., проф. Саблій Л.А.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Проведення літературних досліджень.		
2	Характеристика сировини та біогазу. Аналіз параметрів та технологічних особливостей процесу.		
3	Проведення аналізу існуючих технологій та вибір технології.		
4	Розрахунок параметрів сировини та виходу біогазу. Розрахунок метантенка.		
5	Підбір основного та допоміжного обладнання		
6	Розробка креслень апаратурної і технологічної схем, метантенка		
7	Опис заходів з охорони праці та довкілля		
8	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини		

Студент _____ Анастасія СEMENTA
(підпис)

Керівник проекту _____ Марина КОЗАР
(підпис)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., 16 рис., 7 табл., 43 посилання.

У роботі розроблено проект анаеробного зброджування відходів великої рогатої худоби та міскантусу. Описано сировину для виробництва біогазу та переваги коферментації, наведено характеристику біологічного агенту та виробленого біогазу, обґрунтовано вибір технології зброджування, розроблено та описано технологічну та апаратурну схему виробництва, розраховано матеріальний баланс, вказано точки та параметри контролю, підібрано основне та допоміжне обладнання, описано вимоги та рекомендації по охороні праці та навколишнього середовища. Запроектовано метантенк для здійснення процесу анаеробного зброджування відходів життєдіяльності великої рогатої худоби та міскантусу об'ємом 1000 м³.

БІОГАЗ, АНАЕРОБНЕ ЗБРОДЖУВАННЯ, ВІДХОДИ ВРХ, МІСКАНТУС, КОФЕРМЕНТАЦІЯ, МЕТАНОГЕНЕЗ, МЕТАНТЕНК, ПЕРЕРОБКА ВІДХОДІВ, БІОЕНЕРГЕТИКА.

ABSTRACT

The explanatory note: 75 pages, 16 figures, 7 tables, 43 references.

The project of the anaerobic digestion of cattle waste and miscanthus are selected and substantiated in the work. Raw materials for biogas production and advantages of cofermentation are described, characteristics of biological agent and produced biogas are given, choice of digestion technology is substantiated, technological and extra schemes of production are developed and described, material balance has been calculated, control points and parameters are specified, basic and auxiliary equipment are selected, recommendations on labor and environmental protection are described. Anaerobic digester of 1000 m³ has been designed to implement the process of the anaerobic digestion of cattle matter and miscanthus.

BIOGAS, ANAEROBIC DIGESTION, CATTLE WASTE,
MITHCANTHUS, COFERMENTATION, METHANOGENESIS,
METHANTANK, RECYCLING, BIOENERGY.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОГАЗУ.....	12
1.1 Характеристика субстрату для зброджування.....	12
1.2 Характеристика біологічного агенту.....	15
1.3 Характеристика отриманого біогазу.....	19
РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ.....	24
2.1 Схема перебігу процесу зброджування біомаси.....	24
2.2 Необхідні умови та технологічні особливості зброджування біомаси.....	26
2.3 Обґрунтування вибору технології.....	31
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	37
3.1 Сировина та матеріали.....	37
3.2 Опис технологічного процесу.....	38
3.3 Контроль виробництва.....	41
3.4 Матеріальний баланс.....	44
3.5 Основні технологічні розрахунки.....	46
РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ.....	55
4.1 Типи установок для отримання біогазу.....	55
4.2 Підбір основного та допоміжного обладнання.....	60
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	67
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

					ЕКБ.БЕ61 10.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Стадія	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Сементя А.П						
Конс.		Козар М.Ю.					7	75
						КПІ ім. Ігоря Сікорського,		
Керів.		Козар М.Ю.				ФБТ		
Затверд.								

Перелік умовних позначень та скорочень

ВРХ – велика рогата худоба;

ЛЖК – леткі жирні кислоти;

АТФ – аденозинтрифосфат;

НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотидфостат;

БГУ – біогазова установка;

КГУ – когенераційна установка;

pH – водневий показник;

C/N – співвідношення кількості Карбону до кількості Нітрогену.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Енергетика – основа сучасної промисловості. Енергія задіяні у всіх галузях виробництва та побуту. На разі основними викопними енергетичними ресурсами є нафта, газ та вугілля. Видобуток енергетичних джерел не задовольняє потреби у їхньому використанні. За даними досліджень, запасів викопних джерел у розвіданих родовищах залишилося лише на декілька десятків років видобутку [1].

На разі існують два шляхи вирішення проблеми: екстенсивний та інтенсивний. Перший передбачає розвідування нових родовищ джерел енергії, другий же має на меті використання альтернативних джерел енергії. Розвинені країни світу впроваджують законодавство про альтернативну енергетику. Поширення на світовій арені здобув «зелений тариф» - механізм залучення інвестицій у технологій видобутку екологічно чистої енергії.

Визначну нішу серед альтернативних джерел займають біопалива (біогаз, біодизель, пелети і брикети тощо). Привабливість даних енергетичних носіїв зумовлена використанням різноманітних органічних відходів.

Зокрема, сировиною для отримання біогазу зазвичай слугують відходи агро-промислового комплексу: відходи життєдіяльності великої рогатої худоби, свиней, птахів; залишки сировини та перероблені субстрати виробництв харчового комплексу; рослинна сировина (некондиційні урожаї та спеціально вирощені енергетичні культури).

Біогаз являє собою продукт переробки біомаси за допомогою метаногенних мікроорганізмів і складається з метану, вуглекислого газу, невеликої кількості сірководню, азоту й водню.

У природних умовах біогаз утворюється на болотах, трясовинах, а також на звалищах твердих побутових відходів, у каналізаційній мережі в

					ЕКБ.БЕ6110.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сементя А.П			ВСТУП	Стадія	Арк.
Конс.		Козар М.Ю.					
						9	
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

анаеробних умовах. Технологія виробництва біогазу в промислових масштабах потребує дотримання чітко визначених умов ферментації та подальшого очищення [2].

Системний документ «Нова енергетична стратегія України до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» базується на прийнятті Паризької кліматичної угоди, що має на меті декарбонізацію енергетики, яка найбільшим чином вплине на протидію кліматичним змінам. Стратегією прогнозується короткострокове збільшення частки використання альтернативних джерел енергії (до 2025 р.) – 12%; та довгострокове (до 2035 р.) – 25% [3].

Біомаса відіграє важливу роль у відновлювальній енергетиці, передбачається використання твердої біомаси та біогазу як енергоресурсу, що послугує для заміни вуглеводневих джерел енергії. Для досягнення цілі є необхідним впровадження низки заходів: стимулювання використання біомаси, розвиток конкурентоспроможного ринку біомаси, популяризація використання паливних можливостей біомаси в енергопостачанні.

На даний час більшість технологій на вітчизняній промисловій арені виробництва біогазу зосереджені на метановому збродженні моно-субстратів з високим вмістом метаногенів. Проте, наукові дослідження, а також зарубіжний досвід показує, що суміш гнойової біомаси з целюлозовмісним косубстратом, що являє собою як відходи рослинництва, так і спеціально вирощені культури, є більш перспективним виходом для отримання біогазу.

Культури, спеціально вирощені з метою використання у вигляді палива чи для виробництва палива, називають енергетичними. Жвавий інтерес до енергетичних рослин виник ще у 1970-х роках на фоні енергетичної кризи та необхідності пошуку альтернативних джерел енергії. До даного класу відносяться однорічні трави, багаторічні трави, деревоподібні рослини та дерева з високою швидкістю росту. Типовий представник багаторічних трав – міскантус. Культура характеризується високим урожаєм та

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сівозміною 10-15 років. Міскантус є невибагливим до умов вирощування, а також сприяє поліпшенню якісних показників ґрунту [4].

Метою дипломного проекту є обґрунтування та вибір технології отримання біогазу з відходів життєдіяльності ВРХ та міскантусу як косубстрату.

Для досягнення мети були поставлені наступні **завдання**:

1. Розглянути відходи життєдіяльності ВРХ та міскантус як сировину для отримання біогазу.
2. Обрати та обґрунтувати технологію отримання біогазу.
3. Провести основні технологічні розрахунки процесу отримання біогазу та скласти матеріальний баланс.
4. Накреслити технологічну та апаратурну схеми отримання біогазу.
5. Запроектувати реактор для анаеробного зброджування, що задовольнить вимоги технології, здійснені розрахунки та розробити креслення.
6. Надати основні вимоги охорони праці та захисту навколишнього природного середовища при отриманні біогазу.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОГАЗУ

1.1 Характеристика субстрату для зброджування

На сьогоднішній день розвинені країни світу запроваджують енергостратегії з акцентом на збільшення частки альтернативних джерел енергії та зеленої енергетики. Розвиток біопалива є невід'ємною складовою даних стратегій.

Застосування біогазу як палива є можливим для різних цілей, проте найбільш поширеним є використання для теплоелектростанцій. У світі близько 25 мільйонів сімей отримують енергію для забезпечення потреб домогосподарства саме з біогазу, виробленого в побутових анаеробних реакторах. Це поширений досвід у Китаї, Індії та Непалі. Біогаз як транспортне паливо поширений у Швеції та Швейцарії [5].

Найбільш придатним субстратом для зброджування з метою отримання біогазу є відходи життєдіяльності тварин, які зазвичай утримуються на фермерському господарстві: фекалії великої рогатої худоби, свиней, овець, коней, послід птахів. Доцільність використання зумовлена наявністю в шлунково-кишковому тракті худоби бактерій групи метаногенів, необхідних для процесу анаеробного зброджування. Субстрат перед використанням необхідно розбавити водою та видалити неперетравлену соломку, дрібні камінці.

При використанні курячого посліду рекомендується поєднувати його з гноєм ВРХ, так як використання відходів птахів у чистому вигляді призводить до надмірної концентрації амонію, що перешкоджає нормальному розвитку бактерій [6].

					ЕКБ.БЕ6110.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ТА БІОГАЗУ	Стадія	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Семент А.П						
Конс.		Козар М.Ю.					12	
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затверд.						ФБТ		

Біохімічний склад гною залежить від багатьох факторів: виду тварин, способу їх утримання, кормів, підстилкового матеріалу. У складі гною присутні макро- та мікроелементи, необхідні для нормального розвитку популяцій метаногенових бактерій, він характеризується високою буферною ємністю, що запобігає різким змінам рН у процесі зброджування [7].

Важливим показником характеристики для отримання біогазу є співвідношення вмісту карбону та нітрогену (C/N) в сировині. Для нормального перебігу процесу даний показник повинен перебувати в межі інтервалу C/N=10-20:1. Оптимум залежить від типу сировини [8]. Для відходів ВРХ співвідношення становить 16,6-25:1, для відходів свиней – 6,2-12,5:1, для відходів курей – 7,3-9,65:1 [6].

У результаті зброджування гною та гнойових стоків відбувається їх повна або часткова дезінфекція, а органічні речовини мінералізуються. Це зумовлює утворення зброженого залишку, що слугує добривом високої якості з легкозасвоюваними для рослин речовинами.

Від виду субстрату безпосередньо залежить вихід біогазу та його якість. Так, при порівнянні гною ВРХ, свиней та пташиного посліду бачимо, що питомий вихід біогазу становить 0,0314-0,0570 м³/кг, 0,0405-0,0900 м³/кг та 0,0473-0,1152 м³/кг відповідно, а питомий вихід метану в складі біогазу дорівнює 0,0182-0,0342 м³/кг, 0,0235-0,0540 м³/кг, 0,0269-0,0691 м³/кг відповідно [7].

Не дивлячись на високі показники виходу біогазу, порівняно з використанням відходів життєдіяльності ВРХ, використання гною свиней і пташиного посліду при моно-зброджуванні несе загрозу інгібування процесу внаслідок високої концентрації амонію, про що свідчить низький показник C/N співвідношення. Це призводить до невеликої ефективності роботи установки та економічної недоцільності [9]. Тому найбільш придатними для зброджування є відходи життєдіяльності ВРХ. Проте, дослідження показують, що моно-зброджування гноевих відходів дає не такі високі показники

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективності процесу, як метаногенез суміші відходів, тож до гноєвих відходів доцільно додавати рослинну сировину [10, 11,12].

Використання рослинної сировини у якості ко-субстрату є вигідним та доцільним як з екологічної точки зору, так і з економічної. Відходи рослинництва, органічні відходи побуту, спеціально вирощені рослини, відходи харчової промисловості – придатний субстрат для зброджування, що значно підвищує вихід біогазу. Так, вихід біогазу при використанні трави, пшеничної соломи, кукурудзяних стебелів як ко-субстрату становить 630, 420, 340 $\text{дм}^3\text{CH}_4/\text{кг}$ відповідно, тоді як зброджування тільки гною ВРХ дає 250 $\text{дм}^3\text{CH}_4/\text{кг}$ [13].

Базові складові біомаси вищих рослин – полісахариди целюлози (35-50% від сухої маси) та геміцелюлози (25-35% лігноцелюлозної фракції), а також пектини, поліфеноли та менша кількість структурних білків і крохмалів. Найскладніше піддається зброджуванню сировина з високим вмістом лігніну – деревина, солома, шкарлупа горіхів. Лігнін забезпечує такі властивості рослини, як механічна міцність, стійкість до окисних процесів, дії хімічних та мікробіологічних чинників, тому така сировина потребує попереднього гідролізу [14].

Окремо виділяють енергетичні культури як сировину для отримання біопалива, біогазу в тому числі. Рослини, що перетворюють сонячну енергію з високим коефіцієнтом та здатні нарощувати біомасу в великій кількості – типові представники енергетичних культур, які вирощують спеціально для перетворення в енергоресурси чи для отримання енергії безпосередньо з біомаси. Нині найбільш поширеною енергетичною рослиною є кукурудза на силос. Проте, існує ряд недоліків, із якими стикаються господарства, що вирощують дану культуру, зокрема, ерозія ґрунту та вимивання поживних речовин. Також, з економічної точки зору, більш доцільним є використання кукурудзи як корму для худоби [15]. Тож, сучасна біоенергетика потребує масштабного впровадження інших енергетичних рослин у виробництво.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Енергетичні культури можна розділити на два типи: трав'янисті рослини (сорго, просо, жито, міскантус, тритікале) та дерева, що мають короткий термін вирощування (верба, тополя, бамбук, евкаліпт). Найбільш високоурожайною багаторічною культурою є міскантус, за ним слідує верба [16].

Міскантус – деревовидна трава з сівозміною 10-15 років. На третій рік від посадки врожай сухої маси складає 10-16 т/га, найвищі результати за сприятливих кліматичних умов (до 30 т/га) були досягнуті при вирощуванні за щільності посадки в ≥ 10 тис. садженців на гектар і з додаванням азотного добрива. Культура характеризується швидким ростом і морозостійкістю [4]. Теплота згорання міскантусу – 17 МДж/кг, зольність – 2,7%. Перспектива використання культури для виробництва біогазу зумовлена високими показниками отриманої енергії – 20 ГДж/га [17].

1.2 Характеристика біологічного агенту

За кожен етап метаногенезу відповідає певна група мікроорганізмів, що характеризується функціями, необхідними для перетворення субстрату в біогаз через проміжні продукти. На рис. 1.1 зображено вплив окремих груп бактерій на речовини, що утворюються під час метаногенезу.

Спільнота мікроорганізмів метантенку може включати до 60 різних видів мікроорганізмів – анаеробів та архей [19]. Група організмів, задіяна на початковому етапі зброджування – гідролітики. Серед них мікроорганізми, що розщеплюють целюлозу, являють собою представників родів *Clostridium*, *Eubacterium*, *Spirochaeta*, *Desulfurococcus*, *Acetivibrio*, *Bacteroides*, *Anaerocellum*, *Butyrivibrio*, *Caldicellulosiruptor*, *Thermotoga*, *Fibrobacter*, *Ruminococcus*, *Halocella*.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

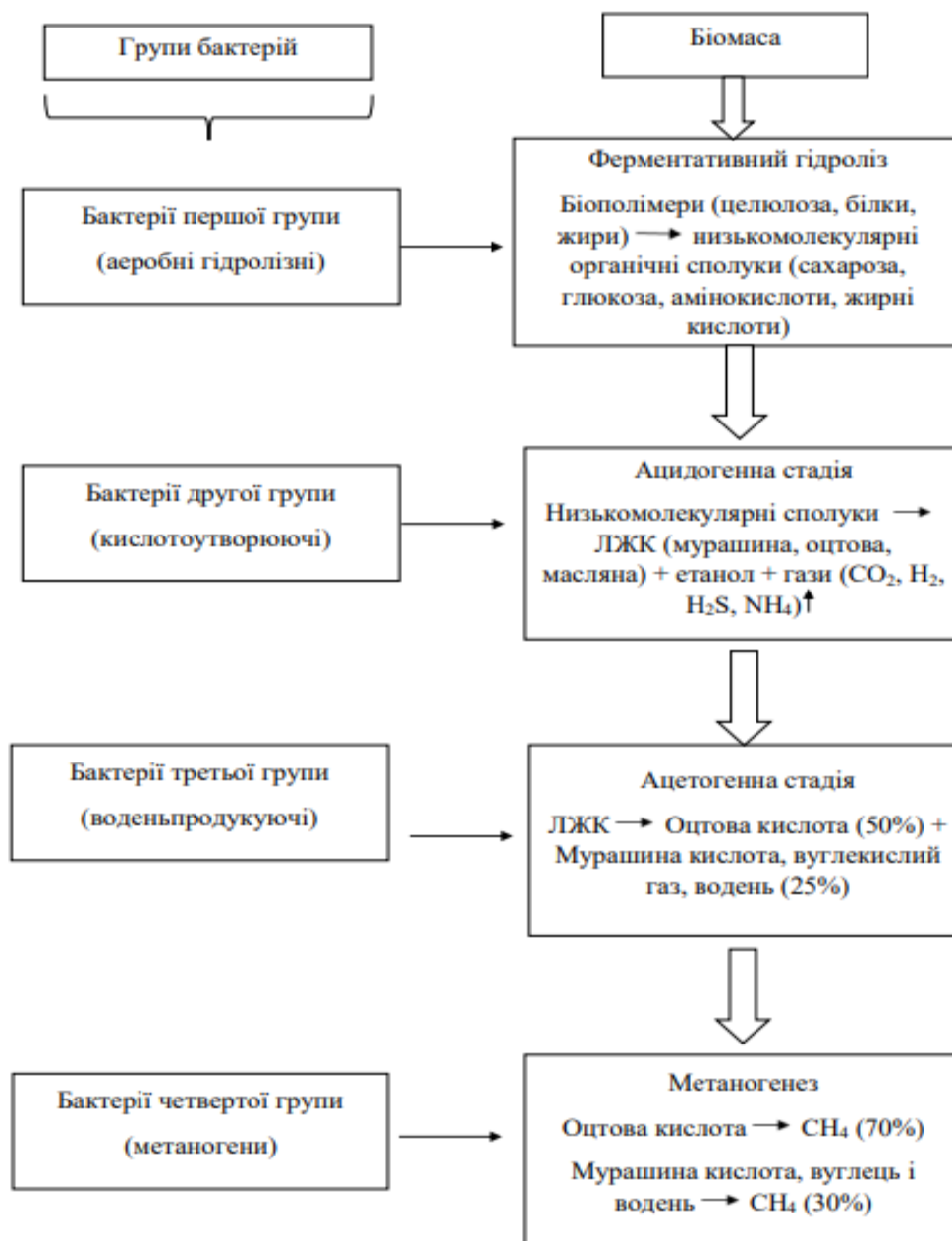


Рисунок 1.1 Схема процесу постадійного метаногенезу [18].

Характерною рисою дії целюлолітичних організмів є наявність мультиферментного комплексу – целюлосоми. Молекулярна маса комплексу складає близько 3 МДа та містить 15-25 ферментів, з'єднаних інтегруючим некаталітичним білком скаффолдином. Окремі целюлосоми формують поліцелюлосоми. Схожі до целюлосомних ферментів комплекси наявні в представників мікрофлори шлунково-кишкового тракту травоядних тварин

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Orpinomyces, *Piromyces*, *Neocallimastix*. Для підвищення каталітичної активності мікроорганізми здатні до адгезії на субстраті – формування біоплівок і мікроколоній [20]. Біодеградація крохмалю можлива за рахунок дії бактерій родів *Streptococcus*, *Thermoanaerobacterium*, *Clostridium Ruminobacter*, *Prevotella*, *Bacteroides*, *Butirivibrio*, *Succinimonas*. За розклад білків та амінокислот відповідні представники родів *Acidaminococcus*, *Clostridium*, *Peptostreptococcus*, *Selenomonas*, *Bacteroides*, *Syntrophomonas*, *Fusobacterium*; пектинів і ксиланів - *Lachnospira*, *Clostridium*, *Bacteroides*, *Butirivibrio*, *Ruminococcus*, *Prevotella* [14].

Після утворення оліго- та мономерів у дію вступають різноманітні гідролітики та метилотрофні бактерії (диссипотрофи). До цієї спільноти входять представники родів *Streptococcus bovis*, *Lactobacillus sp.*, *Anaerobaculum mobile*, а також класів *Acinobacteria*, *Clostridia*, *Bacteroidia* [20].

ЛЖК, спирти, амінокислоти та ароматичні сполуки, утворені на попередній стадії, піддаються дії вторинних анаеробів (синтрофів). Синтрофні взаємодії являють собою тип харчового ланцюга, за якого здійснюється міжвидове перенесення водню від мікроорганізму до мікроорганізму, що відрізняються за типами метаболізму. Так, розвиток *Syntrophomonas* і *Syntrophobacter* можливий лише за присутності в середовищі гідрогенотрофних метаногенів, як видаляють молекулярний водень, що в подальшому використовується для відновлення вуглекислого газу в метан. А перетворювачі пропіонової та масляної кислот *Syntrophobacter fumaroxidans* і *Syntrophomonas bryantii* (відповідно) споживають субстратні речовини лише при дії метаногена, що використовує і водень, і форміат, який також виступає переносником електрона. Також перетворювачами сполук під час ацетогенної стадії є представники родів *Thermosyntropha*, *Syntrophomonas*, *Syntrophothermus*, *Syntrophobacter*, *Smithella*, *Desulfotomaculum*, *Pelotomaculum*, *Syntrophus*, *Sporotomaculum*, *Thauera* [21]. Третя стадія

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зброджування є лімітуючою і від швидкості дії ацетогенних співтовариств та визначає за швидкість процесу метаноутворення в цілому.

Останній етап зброджування характеризується діяльністю метанових бактерій та безпосереднього утворення метану двома шляхами – перетворення ацетату та відновлення CO_2 воднем.

Метаногени поділяють на групи за морфологічною будовою:

- кокові (*Methanococcus*);
- поличкоподібні (*Methanobacterium*);
- сарциновидні (*Methanosarcina*);
- спіралеподібні (*Methanospirillum*).

Звичайна мікрофлора гною містить синтрофні та метаноутворюючі бактерії *Methanospirillum hungati* та *Methanobacterium formicicum* [22].

З практичної точки зору процеси, що відбуваються в метантенку під час ферментації біомаси, відповідають процесам культивування мікроорганізмів у біореакторах. Для метаногенезу характерне протікання таких фаз:

- лаг-фаза (перші 3-4 дні) – адаптація мікроорганізмів із затравочної порції біомаси до нового субстрату;
- логарифмічна (експоненціальна) – з 4 по 8 день – фаза росту та розмноження мікроорганізмів, їх активної діяльності;
- затримки та сповільнення росту (період 8-15 день): поживні речовини субстрату вичерпуються, накопичуються продукти обміну;
- стаціонарна фаза (15-20 день): швидкість відмирання та збільшення популяції приблизно рівні, перебувають у стані динамічної рівноваги;
- фаза відмирання (20-35 день): кількість поживних речовин сировини мінімальна, накопичені продукти обміну кількісно перевищують порогові концентрації.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 1.2 зображено перебіг фаз метаногенезу відходів життєдіяльності ВРХ:

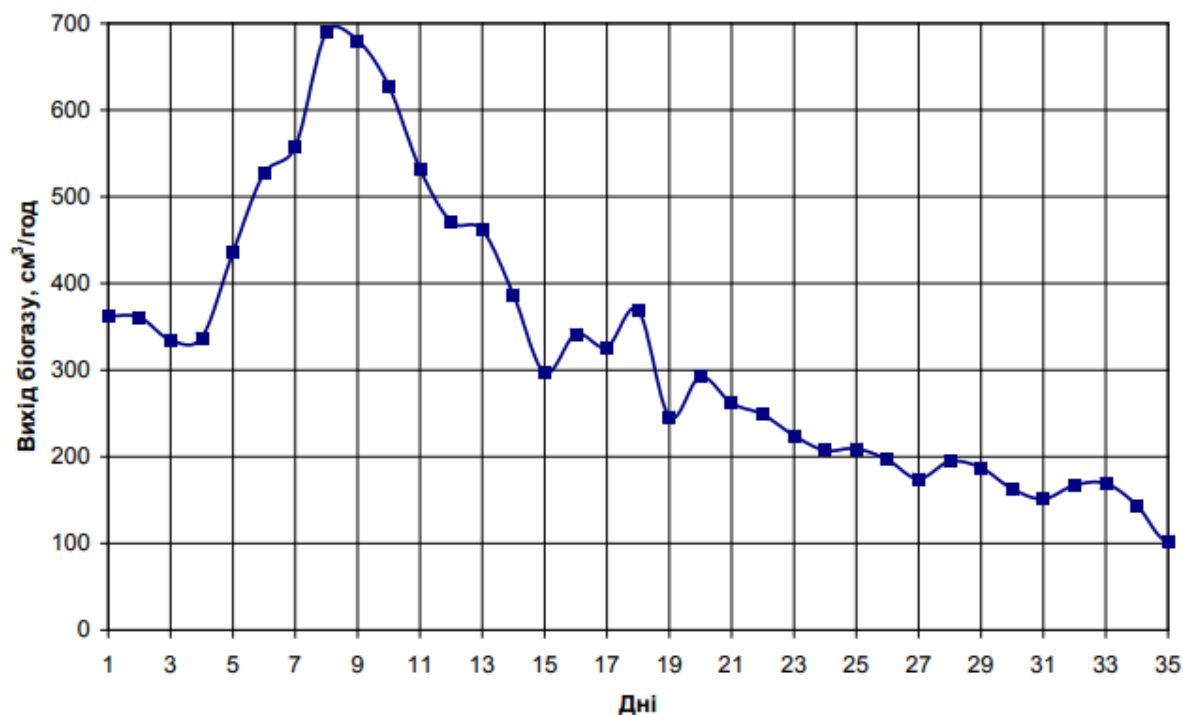


Рисунок 1.2 Процес анаеробної ферментації гоноївки ВРХ вологістю 93% за температури 55°C [23].

1.3 Характеристика отриманого біогазу

Біогаз, вироблений із будь-якої сировини має відповідати вимогам документів ДСТУ 7509:2014 «Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб»; ДСТУ ISO 13443:2015 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення»; ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги і методи контролю».

Склад біогазу коливається від виду субстрату, приблизний вміст компонентів представлена на табл. 1.1.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 Склад біогазу [24].

Компонент	Формула	Вміст
Метан	CH ₄	50-75%
Вуглекислий газ	CO ₂	25-45%
Водяний пар	H ₂ O	2% (20°C) – 7% (40°C)
Кисень	O ₂	<2%
Азот	N ₂	<2%
Аміак	NH ₃	<1%
Водень	H ₂	<1%
Сірководень	H ₂ S	<1%

За сумісного зброджування відходів ВРХ та міскантусу у співвідношенні 5:1 вміст метану в біогазі досягає 60%, вуглекислого газу – 25%, сірководню – 0,8% [25].

Склад біогазу також залежить від співвідношення компонентів суміші субстрату. Так, на рис. 1.3, 1.4, 1.5 показано вміст основних газів у субстратах різного складу, де суміш 1 – 100% *Miscanthus*; суміш 2 – 100% відходів ВРХ; суміш 3 – 50% *Miscanthus*, 50% відходів ВРХ; суміш 4 – 25% *Miscanthus*, 75% відходів ВРХ; суміш 5 – 75% *Miscanthus*, 25% відходів ВРХ [26].

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

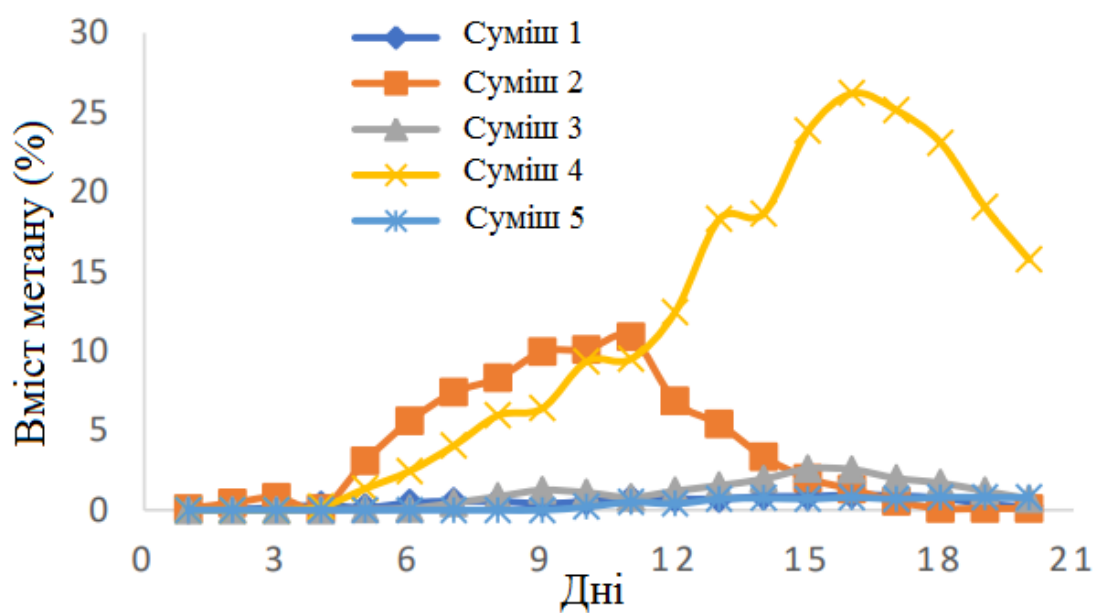


Рисунок 1.3 Сукупний вихід метану з різних субстратів [26].

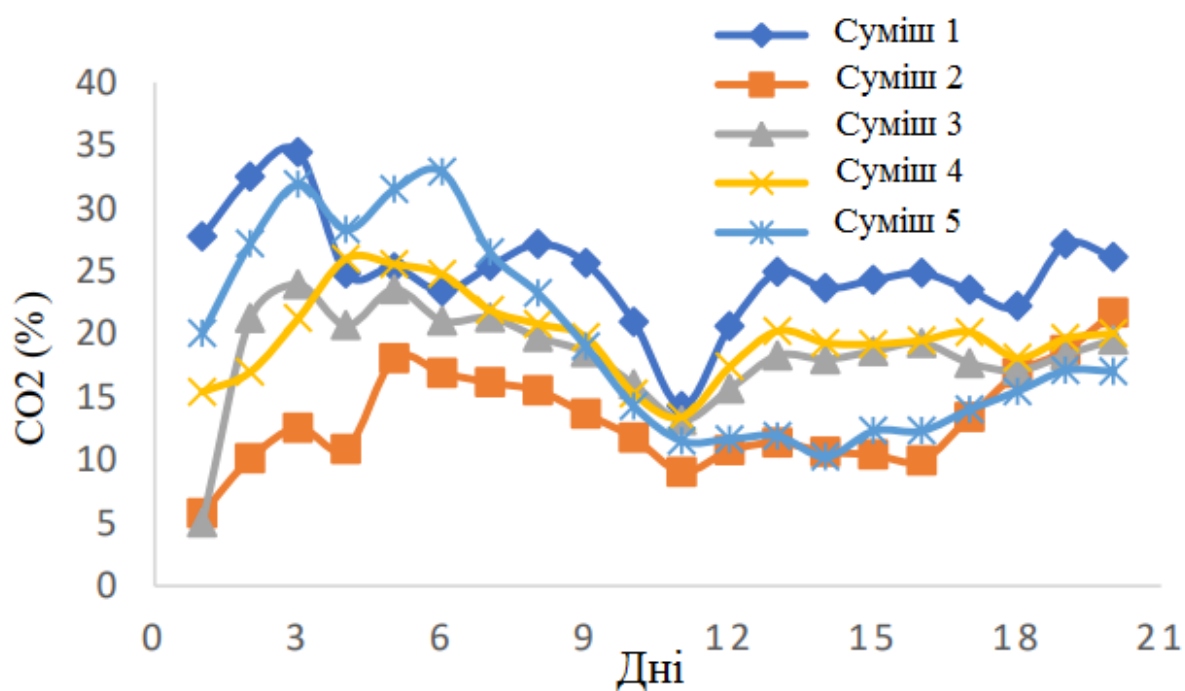


Рисунок 1.4 Вміст вуглекислого газу при зброджуванні різних субстратів [26].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕКБ.БЕ6110.ДП

Арк.
21

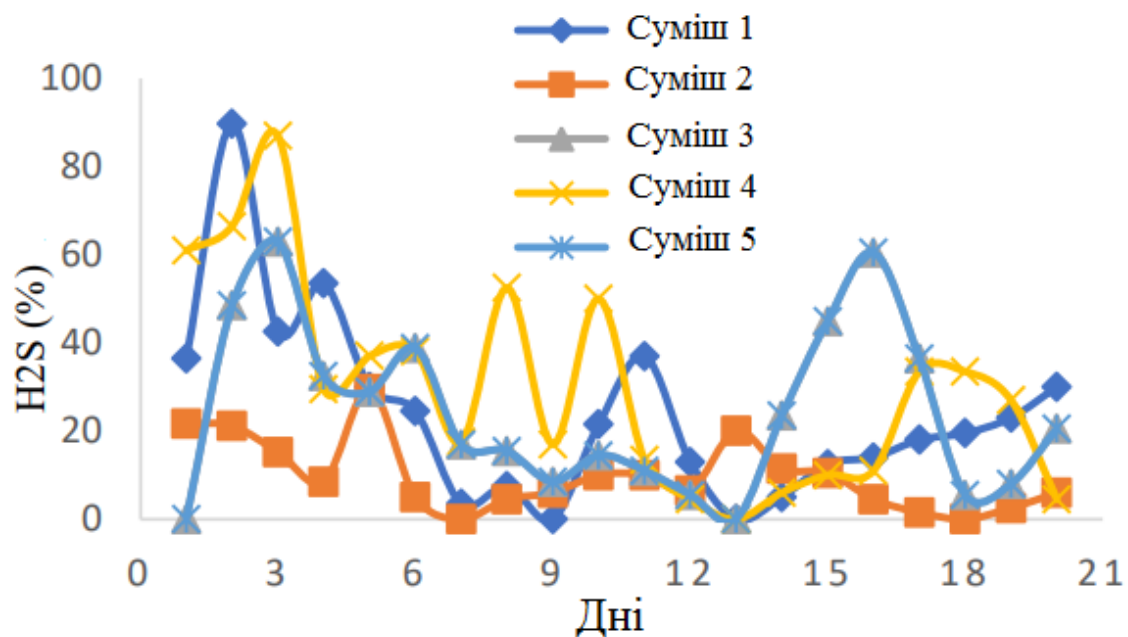


Рисунок 1.5 Вихід сірководню у процесі метаногенезу [26].

До прямого використання біогаз повинен пройти очищення. Для цього спочатку він накопичується в газгольдері. У можливості послідовного виробництва та накопичення виявляється перевага біогазу порівняно з такими альтернативними джерелами, як енергія сонця та вітру. Об'єм газгольдера розраховується відповідно до біогазової установки. Відрізняються накопичувачі за рівнем тиску – низький, середній і високий.

Першим етапом очистки біогазу є зневоднення. Первинне очищення від води відбувається в газгольдері та трубопроводах за охолодження до температури навколишнього середовища. Для спалювання в КГУ цього етапу достатньо. Для подачі в мережу газопостачання далі біогаз охолоджується за допомогою холодильного агрегату, водяний пар конденсується, а разом із ним у невеликій кількості видаляються розчинені гази, наприклад аміак, і аерозолі. Конденсат відводиться в сепаратор.

Важливим етапом очистки біогазу є видалення сірки. Знесірчення разом із зневодненням запобігають корозії обладнання. Для видалення сірководню використовують фізико-хімічний, біологічний і комбінований методи.

Перший метод реалізується додаванням солей заліза, адсорбування залізовмісними сполуками, використання фільтрів із активованого вугілля. Біологічний метод знесірчення здійснюється шляхом нагнітання невеликої кількості повітря в газовій камері. Під час подачі повітря бактерії роду *Sylfobakter oxydans* перетворюють сірководень до елементарної сірки, яка випадає в осад на поверхні субстрату. Таке очищення можна проводити безпосередньо в реакторі. Також очищувати біогаз від сірки можна окремо в біофільтрі або газопромивачах, що встановлюються між бродильним резервуаром і газонакопичувачем. Комбінований метод передбачає поєднання хіміко-фізичного та біологічного методів очищення й застосовується при необхідності виробництва чистого газу, наприклад для подачі в газоцентралі чи використанні у якості палива, у паливних елементах.

Очищення біогазу можна проводити комплексно при використанні молекулярних сит, як уловлюють частки вуглекислого газу, водяного пару і сірководню. Такий спосіб використовується для отримання чистого метану [27].

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

2.1 Схема перебігу процесу зброджування біомаси

На сьогодні визнано, що процес метанового зброджування поділяється на чотири стадії [28]:

1. Ферментативний гідроліз – розклад біологічних полімерів до простіших органічних сполук;
2. Ацидогенна стадія – етап кислотоутворення. Відбувається виділення летких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот і спиртів, також утворюється водень і вуглекислий газ;
3. Ацетогенна стадія: перетворення попередньо утворених сполук на оцтову кислоту, що дисоціює;
4. Метаногенна стадія. На даному етапі відбувається утворення метану в результаті перетворення оцтової кислоти, а також перебігу реакції відновлення воднем вуглекислого газу [6].

Загальна схема анаеробного зброджування біомаси зображена на рис.2.1.

Під час перебігу процесу, стадії не є чітко відокремленими одна від одної, а перебувають в багатоступінчастій системі. Високомолекулярні органічні сполуки (білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти), присутні в сировині, перетворюються на низькомолекулярні водорозчинні молекули під дією ферментів гідролітичних бактерій.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сементя А.П			РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	Стадія	Арк.
Конс.		Козар М.Ю.					
						24	
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

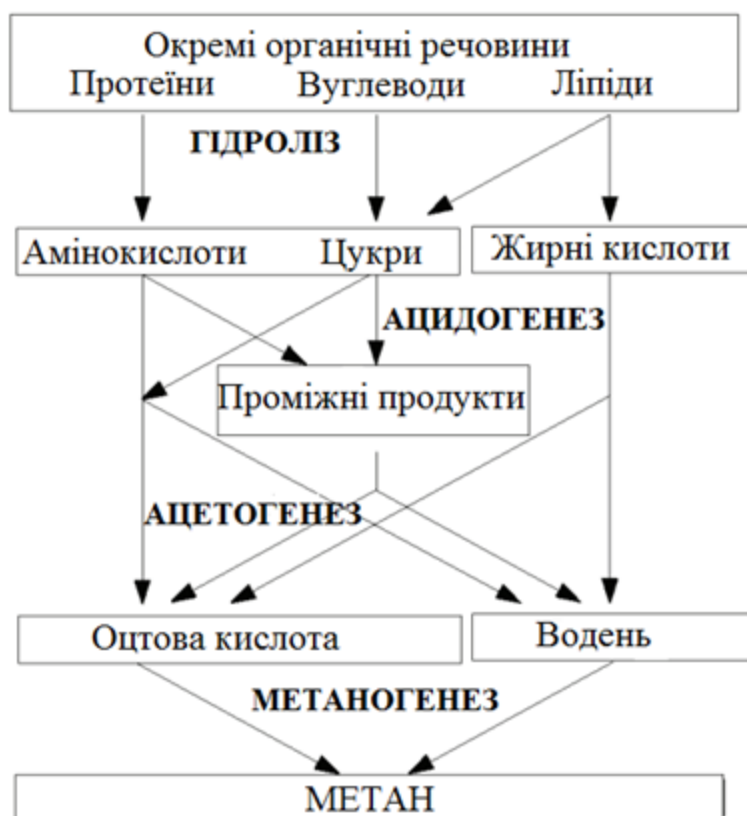
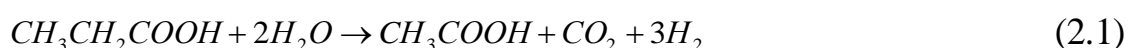


Рисунок 2.1 Етапи анаеробного перетворення біомаси [29].

Оліго- і мономери, утворені внаслідок біодеградації полімерів (цукри, амінокислоти, жирні кислоти, гліцерол, пурини й піримідини) розкладаються первинними анаеробами з утворенням спиртів (метанол, етанол, пропанол, бутанол), альдегідів, органічних кислот (оцтова, пропіонова, масляна, молочна, піровиноградна), а також водню, вуглекислого газу, азоту і сірководню. Під час розкладу целюлози також утворюються леткі жирні кислоти (ЛЖК), спирти, H_2 і CO_2 . Анаероби здійснюють окиснювально-відновні процеси, перетворюють продукти попереднього розкладу в ацетат, вуглекислий газ і водень. Ацетогенні бактерії поділяються на дві групи за функціями. Перші утворюють оцтову кислоту з виділенням водню [14, 30]:



Інші відновлюють вуглекислий газ за допомогою водню:

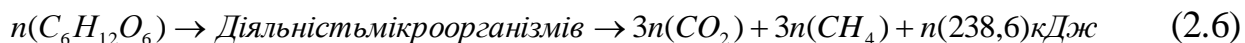


Із утворених речовин шляхом ацетокластичного або гідрогенотрофного метаногенезу утворюється метан:



З основних процесів анаеробного бродіння видно, що 2/3 біогазу складає метан, 1/3 – вуглекислий газ, сірководень, водень та інші гази присутні у якості домішок [14, 30].

Умовно загальну реакцію розкладу целюлози в метантенку можна зобразити так:



Як бачимо з рівняння, під час розкладу целюлози 50% вуглецю окиснюється до вуглекислого газу, інші 50% відновлюються до метану, при цьому утворюється 238,6 кДж енергії на 1 моль глюкози. Даний процес проходить у декілька етапів під дією відповідних бактерій [31].

2.2 Необхідні умови та технологічні особливості для зброджування біомаси

Співвідношення C:N у сировині

Найбільш оптимальне співвідношення карбону та нітрогену, за якого спостерігається найвищий вихід біогазу, становить від 10:1 до 20:1 і залежить від типу субстрату для зброджування. У випадку перевищення вмісту карбону спостерігається обмеження процесу бродіння через нестачу нітрогену. Якщо ж нітрогену забагато, то утворюється така кількість аміаку, яка є токсичною для мікроорганізмів.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вологість сировини

Для нормального обміну речовин у біомасі, що піддається зброджуванню, необхідно підтримувати показник в'язкості, за якого можливий рух бактерій та газу без перешкод. Проте, на практиці розрізняють мокру й твердофазну ферментацію. Основна відмінність між технологіями полягає у вмісті сухої речовини в сировині, що подається у реактор. Так, за використання субстрату з вмістом сухої речовини 8-12% має місце мокра ферментація, за 15-20% сухої речовини використовується технологія твердофазної ферментації.

Кисневі умови

Мікрофлора біогазової устаовки представлена різноманіттям мікроорганізмів, до яких, зокрема, входить група метаногенних архей, що не можуть розвиватися в кисневій атмосфері. Обладнання метантенку забезпечує герметичність, але кисень в невеликих кількостях все таки потрапляє в реактор з сировиною. Пригнічення життєдіяльності спільноти метаногенів вдається уникнути за рахунок того, що вони живуть в симбіозі з бактеріями, діяльність яких необхідна на перших етапах процесу утворення біогазу. Деякі з них є факультативно-анаеробними, тому мають змогу поглинути кисень до того, як він почне впливати на метаногенів.

Температура

Залежно від температурних оптимумів, притаманних для мікроорганізмів, що беруть участь у процесах зброджування розрізняють термофільний, мезофільних і психрофільний режими, наведені у табл. 2.1.

За психрофільного режиму температура процесу перебуває в діапазоні до 30 °C, що дозволяє уникнути етапу нагрівання субстрату та/або реактора. Недоліком даного способу є низька рентабельність експлуатації реактора, так як продуктивність розкладу та об'єм біогазу є незначними.

Мезофільний режим характеризується температурним оптимумом, що підходить для більшості метаногенів. Установки з таким режимом найбільш

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поширені в практичному використанні, адже рентабельність виробництва висока, а також спостерігається стабільність усього процесу.

Таблиця 2.1 – Температурні діапазони життєдіяльності різних групи метаногенових бактерій [23].

Температурні межі	Психрофільний режим	Мезофільний режим	Термофільний режим
Оптимальна	10-15°C	35-37°C	50-60°C
Верхня	25-30°C	43-45°C	75°C
Нижня	0-5°C	15-20°C	45°C

Використання термофільних мікроорганізмів доцільне за умови необхідності гігієнізації субстрату, або при використанні сировини, що має власну високу температуру. Використання цього процесу обумовлює необхідність рівномірної подачі сировини, відповідність технологічним етапам режиму та запобігання можливим неполадкам. Це зумовлено порівняно малою різновидністю метаногенів у культурі термофільних організмів при зброджуванні. За даного режиму досягається висока швидкість процесу та відносно великий об'єм утворюваного біогазу, проте при розрахунку продуктивності необхідно враховувати витрати енергії для підігрівання біогазової установки.

Загалом, основну роль у підтриманні температурного режиму відіграє плавність змін температури. Мікроорганізми здатні пристосуватися до нової температури, якщо вона змінилася не різко, і головним залишається підтримання постійної температури.

Час зброджування сировини

Період перебігу процесу визначається дозою завантаження та температурним режимом. У випадку довготривалості, процес зброджування не може досягнути високої продуктивності по виробництву найбільшого

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єму біогазу за певний період часу. За малого проміжку часу на витримання сировини в реакторі, бактерії вимиваються зі зброженою біомасою швидше, ніж встигають розмножитися.

Тривалість збродження – час від моменту завантаження свіжої сировини в реактор, її переробки, до моменту вивантаження зброженої біомаси з реактора.

З практичної точки зору доцільно обирати тривалість збродження на основі температурного режиму та виду сировини:

- мезофільний режим – 10-20 діб;
- психрофільний режим – 30-40 і більше діб;
- термофільний режим – 5-10 діб.

Рівень pH

У нормі показник pH коливається в діапазоні 6,5 – 8, тобто середовище близьке до нейтрального. Реакція середовища обумовлена дією карбонатного і амонійного буферів. Показник pH падає під час кислотогенної стадії, проте активна дія метаногенів перетворює утворені кислоти в біогаз, що нормалізує показник.

Поживні речовини

Мікроорганізми потребують певну кількість факторів росту – макро- та мікроелементів, вітамінів. Окрім, карбону та нітрогену у вищезгаданому співвідношенні C/N, важливими елементами є сірка, що являє собою складову частину амінокислот, фосфор, який відіграє незамінну роль при утворенні АТФ і НАДФ, а також магній і калій. Співвідношення C:N:P:S повинно знаходитися в межах показника 600:15:5:3. Для оптимального збродження необхідними в меншій кількості є нікель, кобальт, молібден, задіяні у складі кофакторів реакцій обміну речовин, і магній, ферум, марганець, необхідні для перенесення електронів та функціонування деяких ферментів.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У відходах життєдіяльності тварин ці елементи присутні в нормі, а при монозброджуванні рослинної сировини, їх необхідно вносити додатково в надлишковій кількості.

Інгібітори процесу

Основні інгібітори наведені у табл. 2.2, а також негативний вплив здатні нанести антибіотики, дезінфектанти, розчинники і гербіциди.

Таблиця 2.2 – Концентрації та дія інгібуючих речовин на процес зброджування біомаси [23].

<i>Речовина-інгібітор</i>	<i>Концентрація, за якої спостерігається пригнічення</i>	<i>Дія інгібітора</i>
Кисень	$>0,1 \text{ мг/дм}^3$	Негативний вплив на життєдіяльність obligatних анаеробів
Амонійний азот	$>3500 \text{ мг/дм}^3 \text{ NH}_4^+$ (pH=7)	Зміщення рівноваги в системі. Інгібуючий ефект росту при збільшенні показника pH і температури.
Сірководень	$>50 \text{ мг/дм}^3 \text{ H}_2\text{S}$	Інгібування підвищується при зниженні pH.
Важкі метали	$\text{Cu} > 50 \text{ мг/дм}^3$ $\text{Cr} > 100 \text{ мг/дм}^3$ $\text{Zn} > 150 \text{ мг/дм}^3$	Пагубний вплив здатні чинити лише метали в розчиненому стані. Зв'язуються сірководнем, що в нормі утворюється під час бродіння.

Перемішування

Ефективне зброджування біомаси підтримується завдяки факторам, що вдається досягти перемішуванням. А саме: вивільнення бульбашок

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утвореного біогазу, рівномірний розподіл мікроорганізмів та вирівнювання температури, запобігання утворення осаду й кірки, агломерація бактерій та нових порцій сировини, збільшення ефективної площі реактора. Однак, перемішування має бути вчасним. Так як процес зброджування можливий за спільної діяльності симбіозу декілької груп мікроорганізмів, пов'язаних із субстратом, тому рекомендується застосовувати перемішування не частіше, ніж кожні 4-6 год [32, 33].

2.3 Обґрунтування вибору технології

Запровадження підприємств по виробництву біогазу характеризується рядом переваг: зменшення частки використання викопних, невідновних джерел енергії; утилізація відходів тваринництва й рослинництва; отримання екологічно чистого добрива; зменшення токсичних викидів та парникових газів. Досягнення даних цілей можливе через сутність технології анаеробного зброджування. Загальна схема етапів отримання біогазу представлена на рис. 2.2 [34].

Технологій анаеробного зброджування біомаси розрізняють за такими параметрами:

- загальна вологість субстрату;
- спосіб завантаження сировини;
- температура процесу;
- кількість ступенів.

Враховуючи *вміст сухої речовини* в сировині, що використовується для отримання біогазу, технології поділяються на вологу та суху ферментацію. Сировиною для вологої ферментації слугує біомаса з вмістом сухої речовини 8-10%. Для вологої технології характерно: безперервний процес; використання рідких, пастоподібних і твердих субстратів; продуктивний

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тепло- і масопередача; безпечне відведення газу. Суха ферментація здійснюється за вологості сировини <80% та характеризується періодичним процесом, відсутністю перемішування, невеликим об'ємом реактора, придатна лише для твердих субстратів.

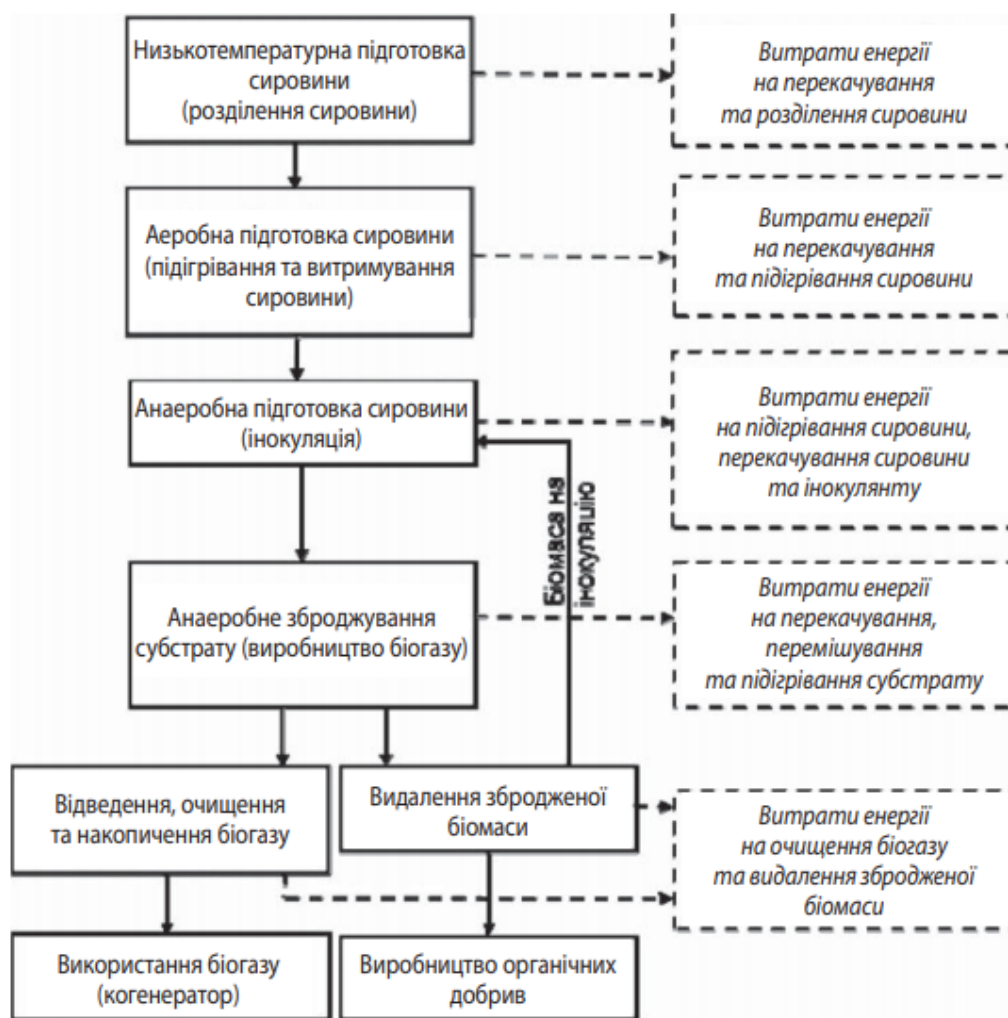


Рисунок 2.2 Блок-схема етапів технології отримання біогазу [34].

На практиці частіше зустрічається використання вологої ферментації. Теоретично, суха ферментація переважає по ряду причин (менший об'єм реактора, мінімальні затрати для обробки субстрату, зброжена сировина за рахунок низького вмісту легко піддається грануляції для використання у якості палива), проте втіленню на практиці даного методу перешкоджає, перш

за все, процес наповнення та спороження реактора у періодичному режимі, що вимагає наявності великого отвору, що має бути герметично закритим [35].

Технологічні процеси відрізняються за рівнем температури, що підтримується в процесі зброджування біомаси і відповідає оптимальним температурним зонам життєдіяльності бактерій.

Психрофільний режим доцільно використовувати лише в країнах із жарким кліматом і для малих об'ємів сировини. Так як швидкість реакції за таких умов низька, то й вихід біогазу спостерігається найменший.

Мезофільні системи вважаються більш стабільними і вимагають менше енергії, ніж теплолюбні системи зброджування. Однак, вищі температури термофільної системи сприяють прискоренню реакції і збільшенню видобутку газу. Операція при вищих температурних режимах також сприяє гігієнізації біомаси. Як в країнах, що розвиваються, на практиці зазвичай переважають системи, що працюють у мезофільному режимі. На рис 2.3 зображено відмінності виходу біогазу та тривалості процесу при зброджуванні однакового субстрату за різних температурних режимів на прикладі відходів життєдіяльності ВРХ.

Технології метаногенезу розрізняють також за кількістю стадій.

Доцільність дво- і багатоступеневих полягає у відокремленні одна від одної послідовності реакцій, що не завжди потребують однакових умов. Одностадійні ж системи є простішими в проектуванні, експлуатації та, як правило, є дешевшими за багатоступеневі, тому саме вони найбільш поширені в практичному використанні.

Багатоступеневе зброджування підходить для рослинних субстратів з врожаєм >50 тис. тонн/рік [37].

Враховуючи існуючі технології, для зброджування відходів життєдіяльності ВРХ та міскантусу як ко-субстрату доцільно обрати вологу ферментацію з мезофільним температурним режимом в одну стадію.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

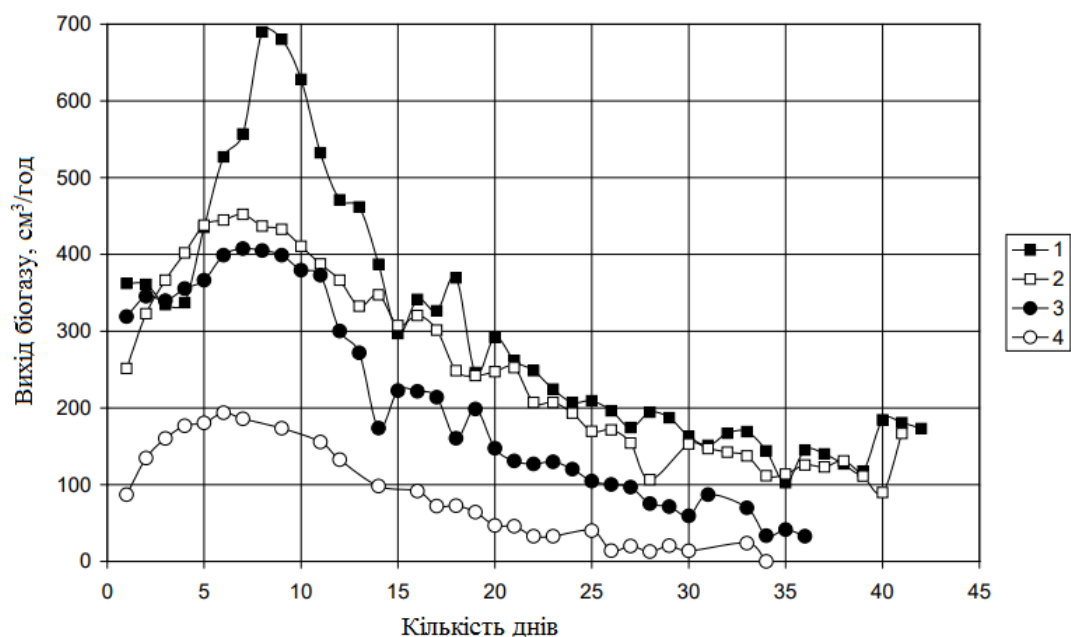


Рисунок 2.3 Вихід біогазу при зброджуванні гноївки ВРХ вологістю 93% за різних температурних режимів:
 1 – термофільний, $t = 55^{\circ}\text{C}$; 2 – термофільний, $t = 50^{\circ}\text{C}$; 3 – мезофільний;
 4 – психрофільний [36].

Процес реалізується в біогазовій установці (БГУ), що являє собою комплекс споруд і устаткування, інтегровані в одну систему. Приклад комплексу обладнання наведено на рис. 2.4.

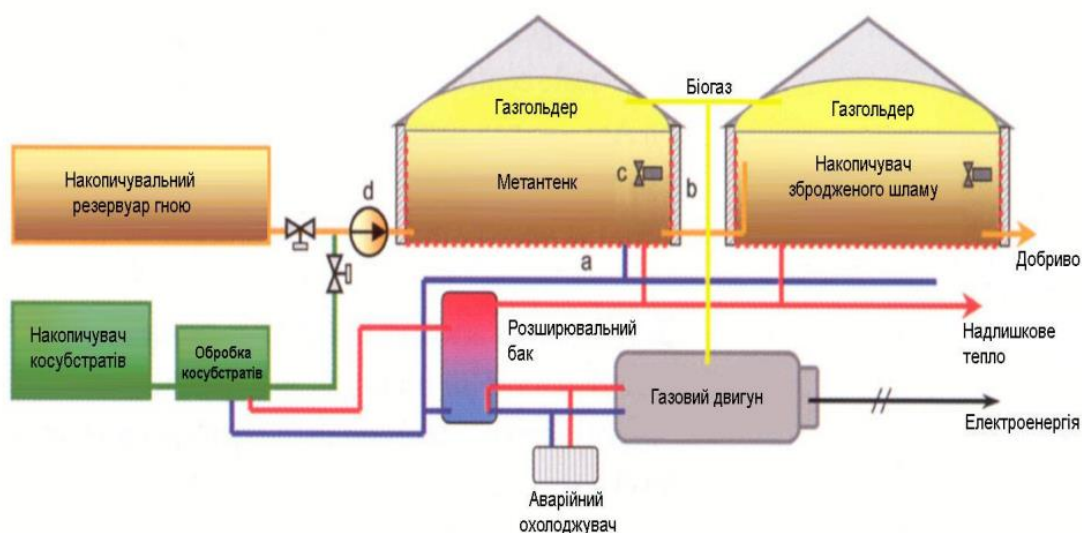


Рисунок 2.4 Типова схема одноступінчастої біогазової установки для сумісного зброджування гнойових відходів з косубстратом [38].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Біогазова установка включає системи прийому та попередньої обробки сировини, систему транспортування матеріалів у межах комплексу, біореактор (метантенк) із системою перемішування, систему нагрівання біореактора, система очистки біогазу, накопичувальні ємності для біогазу та збродженої маси, систему контролю та автоматизації процесів [38].

Складові БГУ зображені на рис. 2.5.

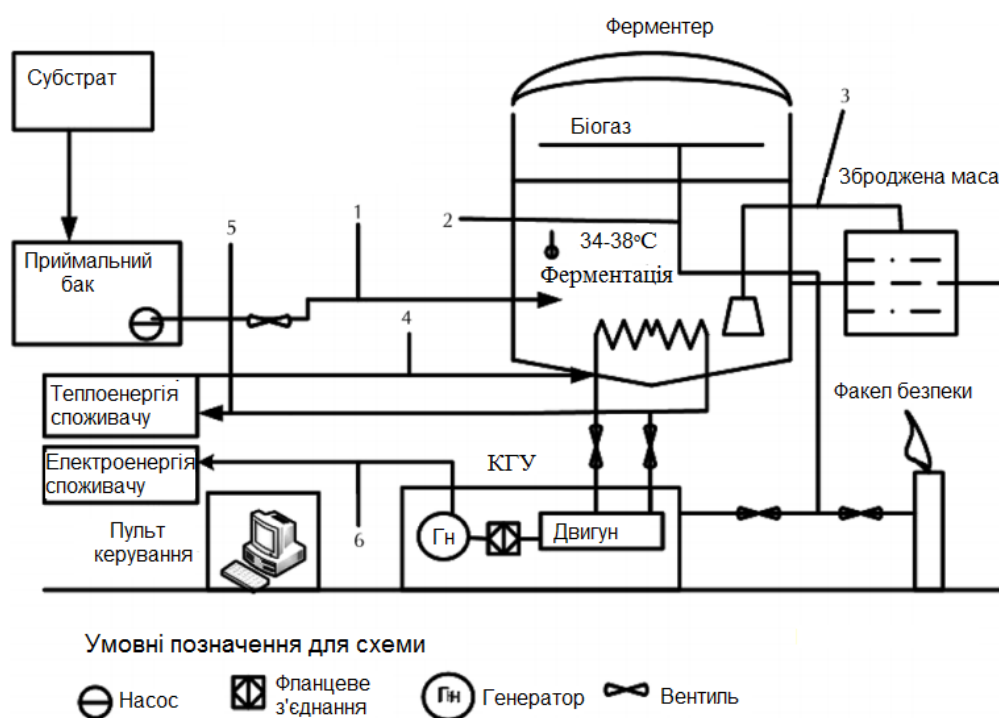


Рисунок 2.5 Схема отримання енергії при реалізації технології анаеробного збродження:

1 – трубопровід субстрату; 2 – трубопровід біогазу; 3 – трубопровід зброджених залишків; 4 – трубопровід теплоносія; 5 – трубопровід зворотньої подачі теплоносія; 6 – лінія електропередачі; КГУ – когенераційна установка [39].

Гній завантажується в приймальний бункер, де розводиться водою до вологості 90-98% та подрібнюється. Далі гнійова маса змішується з попередньо підготованим косубстратом і подається за допомогою насосу в метантенк до заповнення на 2/3 об'єму. Сировина не повинна бути холодною, за необхідності її підігрівають до температури, наближеної до температури

зброджування. Для нагрівання використовується енергія когенераційної установки. Після анаеробного зброджування біогаз відводиться з верхньої частини корпусу реактора, проходить збірник конденсату і збирається в газгольдері. Далі біогаз проходить етап очистки від домішок і спалюється в когенераційній установці для безпосереднього теплової та електричної енергії, також біогаз може бути очищений до показників якості побутового газу та поданий у мережу. Зброджена маса відводиться через нижній отвір, після чого розділяється на тверду та рідку фракції і вивозиться для подальшого використання в якості добрива [39, 40].

Для реалізації мети дипломного проекту обрано одноступінчасту біогазову установку з вологою ферментацією за мезофільного температурного режиму.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Сировина та матеріали

Характеристика сировини, необхідної для здійснення процесу анаеробного зброджування наведено в табл. 3.1

Таблиця 3.1 Характеристика сировини для отримання біогазу

Найменування	Категорія та НТД, яким регламентується сировина	Обов'язкові для перевірки показники та їх значення	Примітка
Основна сировина:			
1. Гній ВРХ	ДСТУ Р 53765-2009	Показники відповідно до вимог технології	
2. Біомаса міскантусу	Згідно з технічним регламентом	Показники відповідно до вимог технології	
Допоміжна сировина:			
3. Вода водопровідна	ДержСанПін 2.2.4-171-10	Амонійний азот ($\leq 0,5$ мг/дм ³); хлор залишковий вільний ($\leq 0,5$ мг/дм ³); хлор залишковий зв'язаний ($\leq 1,2$ мг/дм ³); важкі метали (Cu $\leq 1,0$ мг/дм ³ , Zn $\leq 1,0$ мг/дм ³)	

					ЕКБ.БЕ6110.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Сементя А.П				РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Стадія	Арк.
Конс.	Козар М.Ю.						37
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Керів.	Козар М.Ю.						
Затверд.							

3.2 Опис технологічного процесу

ДР1 Підготовка обладнання

Перед початком експлуатації обладнання має бути здійснена перевірка обладнання на герметичність та миття обладнання.

ДР2 Забір та очищення повітря

Повітря необхідне для стадії ТП8 забирається з атмосфери за допомогою компресора та проходить очистку фільтрі. Повітря очищується від крупнодисперсних механічних часток і пилу.

ДР3 Підготовка гострої пари

Гостра пара необхідна для підтримання температурного режиму метантенка, а також для дезінтеграції целюлозного ко-субстрату шляхом нагрівання. Підготовка пари здійснюється за допомогою нагрітих газів, утворених при спалюванні біогазу в когенераційній установці.

ДР4 Підготовка сировини

ДР4.1 Накопичення сировини в збірнику

Гній, що надходить із ферми накопичується в спеціальній ємності до наступної операції завантаження

ДР4.2 Подрібнення сировини

Для забезпечення необхідного ступеня подрібнення ($d=1-3$ мм) використовують молоткову дробарку.

ДР5 Підготовка ко-субстрату

ДР5.1 Нагрівання целюлозного ко-субстрату для дезінтеграції

Перед подачею міскантусу в реактор, рослинний субстрат піддається дезінтеграції, за якої відбувається руйнування клітинних стінок, що проходить із вивільненням їхнього вмісту. Дана операція дозволяє забезпечити мікроорганізмам більш вільний доступ до живлення, що призводить до збільшення швидкості розкладання органіки. Доцільно проводити

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дезінтеграцію клітинних стінок термічним методом за нагрівання при нормальному тиску.

ДР6 Підготовка субстрату

ДР6.1 Змішування сировини

Змішування відходів ВРХ та міскантусу дозволяє оптимізувати склад суміші як за вмістом амонійного азоту, так і за показником C:N, що вказує на доцільність їх сумісного зброджування [41].

ДР6.2 Розбавлення сировини водою

Подрібнена сировина розбавляється водою до необхідної вологості в змішувачі, куди подається водопровідна вода, а також рідкі відходи від ПВ12. Необхідна вологість сировини – 90%.

ТП7 Метаногенз

Суміш сировини подається в метантенк для анаеробного зброджування. У періодичному процесі передбачає витримування підготовлених сумішей в заданому температурному режимі протягом тривалого періоду часу (15 – 20 діб). При цьому, свіжий субстрат в ході дослідження не додається, як і не відбирається зброджена маса (окрім відбору проб на аналіз хімічного складу). Процес метанового бродіння в періодичному режимі організовується шляхом змішування досліджуваних субстратів та наступним витримуванням утвореної суміші в герметичній системі без доступу повітря в мезофільних умовах (36 ± 1 °C). У процесі зброджування підтримується рН на рівні 4,5-7,4 [41].

ТП8 Знесірчення біогазу в реакторі

Біологічне знесірчення відбувається за рахунок діяльності бактерій *Sulfobacter ohydans*, які уже присутні в реакторі. Для цього невелика кількість повітря подіється в камеру метантенка. Відділена елементарна сірка збирається разом зі збродженим залишком та відводиться до ПВ12.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТП9 Кондеснаційне висушування біогазу

Проходження біогазу газопроводом, прокладеним під землею, обумовлює відповідний перепад температур. Таким чином із біогазу видаляється зайва волога, а також розчинені гази та аерозолі, збираючись у конденсатозбірнику. Рідкі відходи відводяться до стадії ПВ14.

ТП10 Накопичення біогазу в газгольдерах

Біогаз від ТП7 надходить до газгольдерів, де зберігається за тиску 0,5 МПа, звідки подається для спалювання подається на ТП12 [41].

ТП11 Відділення твердої фракції

Зброджена суміш розділяється на рідку та тверду фракції на шнековому сепараторі під тиском 0,1-0,2 МПа. Фільтрат відводиться до ПВ13, де збирається разом з іншими рідкими відходами виробництва. Твердий зброджений залишок направляється до ПВ13.

ТП12 Спалювання біогазу в когенераційній установці

Для нормального перебігу процесу спалювання в установку має подаватися повітря для підтримання процесу горіння. Теплота нагрітих газів використовується для підготовки пари на ДРЗ, що подається в метантенк.

ПВ13 Обробка збродженого залишку

Твердий залишок, утворений при розділенні збродженої суміші, накопичується на майданчику.

ПВ13.1 Сушіння

Зі збродженого залишку видаляється зайва волога. Вологість не має перевищувати 10-15%.

ПВ13.2 Гранулювання

Для спрощення транспортування, зберігання та використання зброджений залишок гранулюється та вивозиться. Використовується твердий зброджений залишок у якості біодобрих, що засвоюються рослинами краще, ніж вихідна сировина.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПВ14 Накопичення рідких відходів

Фільтрат від ТП11 та конденсат від ТП9 направляються в збірник, звідки можуть подаватися для розбавлення сировини на ДР4.2. Основна частина вивозиться на поля та використовується як рідке біодобриво, багате мікроелементами та мінеральними речовинами.

3.3 Контроль виробництва

Правильність перебігу технологічних процесів має контролюватися на кожній стадії. Методи контролю наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Точки та параметри контролю виробництва біогазу

Назва стадії, процесу, місце заміру чи відбору проби	Параметр контролю	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Спосіб контролю параметра, тип приладу
ДР1. Підготовка обладнання	Герметичність, чистота	Перед кожним запуском обладнання	Відповідність технічним характеристикам	Технологічний	Оглядовий режим. Спостереження з боку персоналу

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 3.2.

ДР2. Забір та очищення повітря	Вміст крупних механічних часток	Перед кожним використанням	d<15 мкм	Технологічний	Фільтр з певним діаметром пор
ДР4. Підготовка сировини ДР4.2 Подрібнення сировини	Розмір часток	Кожна операція	d=1-3 мм	Технологічний	Автоматично
ДР5. Підготовка ко субстрату ДР5.1 Подрібнення	Розмір часток	Кожна операція	d=8-10 мм	Технологічний	Автоматично
ДР6. Підготовка субстрату ДР6.2 Розбавлення водою	Вологість	Кожна операція	W=90%	Технологічний	Автоматично
ТП7. Метаногенез	Рівень заповненості апарата. Температура. Показник рН	Регулярно	3=0,8 t=36±1°C рН=4,5-7,5	Технологічний Хімічний	За допомогою спеціалізованих приладів: рівнемір, рН-метр, термометр
ТП8. Знесірчення біогазу в реакторі	Тиск. Температура. Концентрація сірководню	Регулярно	p=1,2 МПа t=10°C C<0,01-0,05%	Технологічний Хімічний	За допомогою спеціалізованих приладів.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 3.2.

ТП9. Конденсаційне висушування біогазу	Температура. Вміст вологи.	Регулярно	t=2- 4°C, w<0,5 %	Технологічний Хімічний	За допомогою спеціалізова- них приладів: газоаналізатор
ТП10 Накопичення біогазу в газ- гольдерах	Тиск.	Регулярно	p=0,5 МПа	Технологічний	За допомогою спеціалізова- них приладів: манометр.
ТП11. Відділення твердої фрак- ції на шнек- овому сепара- торі	Тиск.	Регулярно	p=0,1- 0,2 МПа	Технологічний	За допомогою спеціалізова- них приладів: манометр.
ТП12. Спалювання біогазу в когенерацій- ній установці	Відповідність параметрам технологічного режиму	Кожної операції		Технологічний	Автоматично
ПВ12 Обробка збродженого залишку ПВ12.1 Сушіння	Температура Вологість	Кожної операції	t=80°C w=10- 15%	Технологічний	Автоматично

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 3.2.

ПВ13. Обробка збродженого залишку ПВ13.1. Сушіння	Температура Вологість	Регулярно	t=80°C, w=10- 15%	Технологічний Хімічний	Автоматично
ПВ13. Обробка збродженого залишку ПВ13.2 Гранулювання	Відповідність параметрам технологічного режиму	Кожної операції		Технологічний Хімічний	Автоматично

3.4 Матеріальний баланс

Розрахунки матеріального балансу процесу (інформація про кількість використаних матеріалів та отриманих продуктів) наведено в табл. 3.3

Таблиця 3.3 Матеріальний баланс виробництва біогазу

Стадія	Використано				Отримано			
	Назва сировини, матеріалів, напівпродуктів	Кількість			Назва кінцевого продукту чи напівпродукту, відходів і витрат	Кількість		
		м³	шт	Кг		м³	шт	кг
ДР2	Твердий NaOH			1840	Розчин NaOH			18400

					ЕКБ.БЕ6110.ДП				Арк. 44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Продовження табл. 3.3.

	Вода водопровідна							
	Всього:			16560	Всього:			18400
ДР6	Гній ВРХ			107,1· 10 ³	Гомогенізова- ний субстрат			136,5· 10 ³
	Біомаса міскантусу			21,42· 10 ³				
	Вода водопровідна			8000				
	Всього:			136,5· 10 ³	Всього:			136,5· 10 ³
ТП7	Субстрат для зброджування			136,5· 10 ³	Неочищений біогаз	4048, 8		4858, 6
					Зброджений залишок			84800
					Рідка фракція відходів			31800
					Втрати сировини			15041
	Всього:			136,5· 10 ³	Всього:			136,5· 10 ³
ТП10	Неочищений біогаз	4048, 8		4858, 6	Очищений біогаз	3004, 2		3605
	Вода водопровідна			1000	Сірководень	32,4		49
	Розчин NaOH			18400	Відпрацьова- на вода			18165 ,6
					Na ₂ CO ₃			2439
	Всього			24258 ,6				24258 ,6

					ЕКБ.БЕ6110.ДП			Арк. 45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

ПВ12	Зброджений залишок			84800	Гранульоване добриво			23744
					Надлишкова волога			61056
	Всього			84800				84800

3.5 Основні технологічні розрахунки

Вихід біогазу залежить від виду сировини, її хімічного складу та фізичних якостей.

Сировиною для отримання біогазу обрано ферму ООО «Молоко Вітчизни», розташовану в с. Штоповка Конотопського району Сумської області. Станом на жовтень 2019 року ферма утримує 3000 голів ВРХ, із них 1134 молочних корів і 1866 гол. – молодняк. Спосіб утримання – безприв'язний. [42].

Вихід гною за добу та за рік.

При застосування стійлово-пасовищного утримання із використанням вигульно-кормових майданчиків річне та добове накопичення гною скорочується на 30% та розраховується за формулами:

$$Q_{\text{річн}} = [(M_E J + M_{II} J + BJ) \cdot t_n + (M_E J + BJ) \cdot 0,3 \cdot t_n] \cdot \frac{nJ}{1000}, \text{ Т} \quad (3.1)$$

$$Q_{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{річн}}}{t}, \text{ Т} \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{д}}$ – добовий вихід гною, т;

$M_E J$ – добова маса екскрементів від однієї голови, кг;

$M_{II} J$ – добова кількість підстилки на 1 гол., кг;

BJ – добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення;

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

nJ – поголів'я тварин, що одночасно утримується на фермі чи комплексі, гол.;

t – обліковий час, діб (t_n – час утримання тварин у приміщенні (245 діб), t_l – час утримання у літніх таборах (120 діб)).

Добова кількість води (BJ) розраховують за формулою:

$$BJ = KM_E J, \quad (3.3)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від типу системи видалення відходів. За самосплавної системи K становить 0,3-0,5.

Кількість води у відходах корів і молодняку, середнім віком 9 міс.:

$$BJ_{\kappa} = 0,4 \cdot 55 = 22 \quad (3.3.1)$$

$$BJ_{\text{м}} = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \quad (3.3.2)$$

Для корів вихід гною становить:

$$Q_{\text{грін}} = [(55 + 0,5 + 22) \cdot 245 + (55 + 22) \cdot 0,3 \cdot 120] \cdot \frac{1134}{1000} = 24675,3 \text{ Т} \quad (3.1.1)$$

$$Q_{\text{доб}} = \frac{24675,3}{365} = 67,6 \text{ Т} \quad (3.2.1)$$

Для молодняку вихід гною:

$$Q_{\text{грін}} = [(19 + 1 + 7,6) \cdot 245 + (19 + 7,6) \cdot 0,3 \cdot 120] \cdot \frac{1866}{1000} = 14404,8 \text{ Т} \quad (3.1.2)$$

$$Q_{\text{доб}} = \frac{14404,8}{365} = 39,5 \text{ Т} \quad (3.2.2)$$

Загальний вихід гною з ферми:

$$Q_{\text{грін}} = 24675,3 + 14404,8 = 39090,05 \text{ Т} \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{доб}} = 67,6 + 39,5 = 107,07 \text{ Т} \quad (3.5)$$

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри біомаси, що впливають на вихід біогазу

Вологість гною:

$$W_e = \frac{(W_1 \cdot 2) + W_2}{3}, \% \quad (3.6)$$

де W_e – загальна відносна вологість гною, %;

W_1 – відносна вологість підстилкового гною;

W_2 – відносна вологість безпідстилкового гною.

Відносна вологість гною за безпідстилкового утримання:

$$W_2 = \frac{W_E + 100Z}{1 + Z}, \% \quad (3.7)$$

де W_E – відносна вологість екскрементів, % (для ВРХ 86%);

Z – показник кількості води у системі гноєвидалення, для самосплавної $Z = 0,3-0,5$.

Вологість безпідстилкового гною ВРХ:

$$W_2 = \frac{86 + 100 \cdot 0,4}{1 + 0,4} = 90 \% \quad (3.7.1)$$

Вологість підстилкового гною:

$$W_1 = W_E - [0,01 \cdot P_{II}(W_E - W_{II}) + 0,01 \cdot P_B(100 - W_E)], \% \quad (3.8)$$

де W_{II} – вологість підстилки, приймається 19,6%;

P_{II}, P_B – відсоткове співвідношення підстилки і води, %.

Співвідношення води в гноєвій масі:

$$P_B = \frac{BJ \cdot 100}{M_E J + BJ + M_{II} J}, \% \quad (3.9)$$

Кількість води в гноєвій масі корів і молодняку:

$$P_{Bк} = \frac{22 \cdot 100}{55 + 22 + 0,5} = 28,387 \% \quad (3.9.1)$$

$$P_{Bм} = \frac{7,6 \cdot 100}{19 + 7,6 + 1} = 27,5 \% \quad (3.9.2)$$

Кількість підстилки в гноєвій масі:

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\Pi} = \frac{M_{\Pi} J \cdot 100}{M_E J + B J + M_{\Pi} J}, \% \quad (3.10)$$

Кількість підстилки в гноєвій масі корів і молодняку:

$$P_{\Pi K} = \frac{0,5 \cdot 100}{55 + 22 + 0,5} = 0,645 \% \quad (3.10.1)$$

$$P_{\Pi M} = \frac{1 \cdot 100}{19 + 7,6 + 1} = 3,6 \% \quad (3.10.2)$$

Вологість підстилкового гною корів, молодняку:

$$W_{1K} = 86 - [0,01 \cdot 0,645 \cdot (86 - 19,5) + 0,01 \cdot 28,387 \cdot (100 - 86)] = 81,6 \% \quad (3.8.1)$$

$$W_{1M} = 86 - [0,01 \cdot 3,6 \cdot (86 - 19,5) + 0,01 \cdot 27,5 \cdot (100 - 86)] = 79,7 \% \quad (3.8.2)$$

Вологість гною корів, молодняку за стійлово-пасовищного утримання:

$$W_{2K} = \frac{(81,6 \cdot 2) + 90}{3} = 84,4 \% \quad (3.6.1)$$

$$W_{2M} = \frac{(79,7 \cdot 2) + 90}{3} = 83,2 \% \quad (3.6.2)$$

Вологість гною, який поступає з ферми від різних виробничих груп визначається за формулою:

$$W_C = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_n}{n} = \frac{84,4 + 83,2}{2} = 83,8 \% \quad (3.11)$$

Вміст сухої речовини:

$$P_{a.c.p.} = \frac{Q_{\Gamma} \cdot (100 - W_{\Gamma})}{100}, \quad (3.12)$$

де $P_{a.c.p.}$ – вміст абсолютно сухої речовини в гнійовій біомасі, т;

Q_{Γ} – вихід гною з ферми (може бути або добовий, або річний), т;

W_{Γ} – відносна вологість гною, який виходить із ферми, %.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вміст сухої речовини у відходах за добу:

$$P_{a.c.p., \text{доб}} = \frac{107,1 \cdot (100 - 83,8)}{100} = 17,4 \text{ т} \quad (3.12.1)$$

Вміст сухої речовини у річному виході гнойової маси:

$$P_{a.c.p., \text{річ}} = \frac{39080,05 \cdot (100 - 83,8)}{100} = 6339,8 \text{ т} \quad (3.12.2)$$

Відходи життєдіяльності різних видів сільськогосподарських тварин містять у середньому 80% органічної речовини та 30% неорганічної. Кількість органічної речовини в гнойовій біомасі:

$$Q_p = P_{a.c.p.} \cdot 0,8, \text{ т (кг)} \quad (3.13)$$

за добу:

$$Q_p = 17,4 \cdot 0,8 = 13,9, \text{ т} \quad (3.13.1)$$

за рік:

$$Q_p = 6339,8 \cdot 0,8 = 5071,8, \text{ т} \quad (3.13.2)$$

Визначення параметрів системи анаеробного зброджування.

Добова продуктивність реактора визначається за кількістю вихідної гнойової біомаси:

$$G_{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{Грічн}}}{t_{\text{річн}} - t_3} = \frac{39080,05}{365 - 30} = 116,7 \text{ т/доб} \quad (3.14)$$

де $G_{\text{доб}}$ – добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу;

$Q_{\text{Г.річн}}$ – річна кількість гною на фермі, т;

$t_{\text{річн}}$ – кількість днів у році (365);

t_3 – тривалість випуску й обслуговування реактора (близько 30 днів).

Добовий обсяг завантаження метантенка дорівнює добовому виходу гною вологістю 88-92% з ферми та розраховується за формулою:

$$Q_{\text{доб.}} = \frac{W_{\text{Г}}^2 \cdot Q_{\text{Гдоб}}}{W_{\text{Г}}^1 \cdot q_{\text{Г}}} = \frac{90 \cdot 107,1}{83,8 \cdot 1,06} = 108,5 \text{ м}^3 \quad (3.15)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – добовий обсяг завантаження метантенка, м³;

$W_{\text{Г}}^1$ – відносна вологість гною, який виходить із ферми, %;

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$W_{Г^2}$ – відносна оптимальна вологість гною (88-92%);

$Q_{Г.доб}$ – добовий вихід гною на фермі;

$q_{Г}$ – питома вага 1 м³ гною за певної оптимальної вологості (1 м³ відповідає 1060 кг гною вологістю 90%).

Об'єм бродильної камери:

$$V_K = \frac{Q_{доб} \cdot 100}{pq} = \frac{108,5 \cdot 100}{7 \cdot 0,9} = 1722,4 \text{ м}^3 \quad (3.16)$$

де V_K – місткість бродильної камери, м³;

$Q_{доб}$ – добовий обсяг завантаження метантенка, м³;

p – добова доза завантаження (для мезофільного процесу – 7%);

q – коефіцієнт заповнення камери (0,8-0,95) [43].

Для зброджування приймаємо два метантенки (типовий проект №902-2-227) з об'ємом по 1000 м³ [44].

Визначення кількості біогазу та залишкових продуктів.

Добовий та річний вихід біогазу розраховується з урахуванням вмісту в сировині сухої або органічної речовини:

$$V_{Г} = \frac{P_{a.c.p.} \cdot Z}{100 \cdot K \cdot v}, \text{ м}^3 \quad (3.17)$$

де $V_{Г}$ – добовий або річний вихід біогазу, м³;

$P_{a.c.p.}$ – добова або річна кількість сухої речовини, т (кг);

Z – стан розкладання органічної речовини, % (30%);

K – коефіцієнт розчинності біогазу (1,1-1,5);

v – питома вага біогазу (при вмісті за об'ємом 65% метану, 35% вуглекислого газу становить 0,00117 т/м³ або 1,17 кг/м³).

$$V_{Г} = P_{a.c.p.} \cdot K \cdot \rho, \text{ м}^3 \quad (3.18)$$

де $V_{Г}$ – добовий або річний вихід біогазу, м³;

$P_{a.c.p.}$ – добова або річна кількість сухої речовини, кг;

ρ – вихід біогазу з 1 кг органічної речовини (для гною ВРХ 0,2-0,5 м³);

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K – коефіцієнт зброджування органічної речовини (0,3).

Вихід біогазу за вмістом сухої речовини в гноєвій біомасі: [43]

$$V_{ГДОБ} = \frac{17,4 \cdot 30}{100 \cdot 1,1 \cdot 0,00117} = 4048,8 \text{ м}^3 \quad (3.17.1)$$

$$V_{ГРІЧ} = \frac{6339,8 \cdot 30}{100 \cdot 1,1 \cdot 0,00117} = 1477806 \text{ м}^3 \quad (3.17.2)$$

Для зберігання газу приймаємо 7 газгольдерів (типовий проект №7-07-03/66) об'ємом по 600 м³ [44].

Після зброджування гнійної біомаси і одержання біогазу, залишається тверда фракція гною (шлам) і надосадова рідина (рідка фракція). Кількість твердої і рідкої фракції залежить як від вологості гною, який завантажується, так і вологості фракцій, які одержуємо (твердої і рідкої).

У процесі анаеробної ферментації вміст сухої органічної речовини у вихідній біомасі на 50% зменшується, так як вуглець включається в компоненти біогазу та переходить у мікробну масу. Проте, у зброджуваній масі залишаються біогенні елементи, необхідні для рослин, а поживні речовини переходять у більш доступну форму. Вміст у шламi вітаміну В₁₂ та білків обумовлює його застосування як білково-вітамінної кормової добавки.

Річний вихід твердої фракції визначається за формулою:

$$M_{ш.річн} = Q_{ГРІЧН} \frac{W_q - W_{Г}}{W_q - W_{ш}} = 39080,05 \cdot \frac{98 - 90}{98 - 87} = 28421,9 \text{ т} \quad (3.19)$$

де $M_{ш.річн}$ – річна маса утворюваного шламу, т;

$Q_{ГРІЧН}$ – річний вихід гною, т;

W_q – вологість рідкої фракції, % (98-99%);

$W_{Г}$ – вологість гною, що завантажується, % (90%);

$W_{ш}$ – вологість шламу, % (87%).

Відносний вихід шламу:

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{ш.річн} = \frac{M_{ш.річн} \cdot 100}{Q_{ГРІЧН}} = \frac{28421,9 \cdot 100}{39080,05} = 72 \quad (3.20)$$

Добовий вихід шламу:

$$M_{ш.доб} = \frac{M_{ш.річн}}{335} = \frac{28421,9}{335} = 84,8 \text{ т} \quad (3.20)$$

Рідка фракція може бути використана як рідке органічне добриво.

Річний вихід рідкої фракції визначається за формулою:

$$M_{q.річн} = Q_{ГРІЧН} \frac{W_{Г} - W_{Ш}}{W_{q} - W_{Ш}} = 39080,05 \cdot \frac{90 - 87}{98 - 87} = 10658,2 \text{ т} \quad (3.21)$$

Відносна кількість рідкої фракції:

$$M_{q.річн} = \frac{M_{ш.річн} \cdot 100}{Q_{ГРІЧН}} = \frac{10658,2 \cdot 100}{39080,05} = 27,3 \quad (3.22)$$

Добовий вихід рідкої фракції [43]:

$$M_{q.доб} = \frac{M_{q.річн}}{335} = \frac{10658,2}{335} = 31,8 \text{ т} \quad (3.23)$$

Розрахована система анаеробного зброджування складається з двох метантенків (типовий проект №902-2-227) з такими параметрами:

- корисний об'єм: 1000 м³;
- діаметр: 12,5 м;
- висота верхнього конуса: 1,9 м;
- висота циліндричної частини: 6,5 м;
- висота нижнього конуса: 2,15 м;

і 7 газгольдерів (типовий проект №7-07-03/66) з такими параметрами:

- об'єм газгольдера: 600 м³;
- діаметр резервуару 11480 мм;
- висота газгольдера: 15400 мм [44].

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

4.1 Типи установок для отримання біогазу

Принцип роботи біогазових установок універсальний: після підготовки сировини, її подрібнення і зволоження, вона подається в реактор – герметичну закриту ємність із пристосуваннями для підтримання постійної температури та перемішування, після цього утворений біогаз проходить стадію очистки та збирається в газгольдері до моменту використання.

Для нормальної роботи біогазова установка повинна бути обладнана такими складовими:

- ємність гомогенізації;
- прилад для завантаження сировини;
- реактор;
- система перемішування;
- безпосередньо мішалки;
- система підтримання температури;
- насосна станція;
- газова система;
- сепаратор;
- газгольдер;
- пристрої контролю;
- система безпеки.

Найбільш поширеною класифікацією біогазових установок є класифікація за типом розміщення. Реактори бувають наземні, занурені та напівзанурені. Будівельними матеріалами можуть бути бетом, цегла, камінь та металеві ємності, що володіють корозійною стійкістю.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ	Стадія	Арк.	Акрушіє
Розроб.	Сементя А.П						55	
Конс.	Козар М.Ю.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Керів.	Козар М.Ю.					ФБТ		
Затверд.								

Відмінною характеристикою реакторів є різновид системи вивантаження та відвантаження, зображених на рис. 4.1.

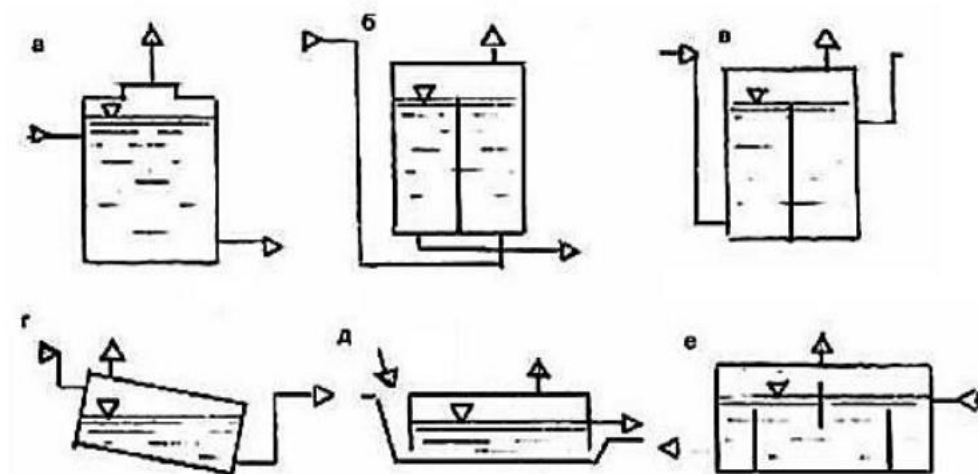


Рисунок 4.1 – Форми біореакторів та варіанти розміщення люків завантаження і відвантаження:

а – циліндричний реактор із верхнім завантаженням; б – циліндричний реактор із нижнім завантаженням; в – циліндричний двосекційний реактор; г – похилий реактор; д – траншейний реактор з плаваючим покриттям; е – горизонтальний секційний реактор [45].

Практичного застосування у країнах, що розвиваються, набули три найбільш поширені типи установок: реактор із фіксованим куполом, реактор з плаваючим покриттям і трубний реактор. Ці установки являють собою системи мокрої ферментації, працюють в безперервному мезофільному режимі, є недорогими в будівництві, з доступного матеріалу.

Установка із фіксованим куполом, зображений на рис. 4.2, складається з закритого купольного нерухомого реактора, фіксованого газгольдера, вхідного отвору для сировини та вихідного отвору, що також називається компенсаційним баком. Утворений газ накопичується у верхній частині реактора. Із закритим вихідним газовим клапаном, збільшення об'єму виробленого газу підвищує тиск всередині реактора, тим самим

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підштовхуючи зброджений залишок в компенсаційний бак. Коли газовий клапан відкритий для утилізації газу, тиск газу падає, і пропорційна кількість залишку повертається з компенсаційного бака в реактор. Зазвичай така установка будується підземною, з метою запобігання дії низьких температур вночі та в холодну пору року.

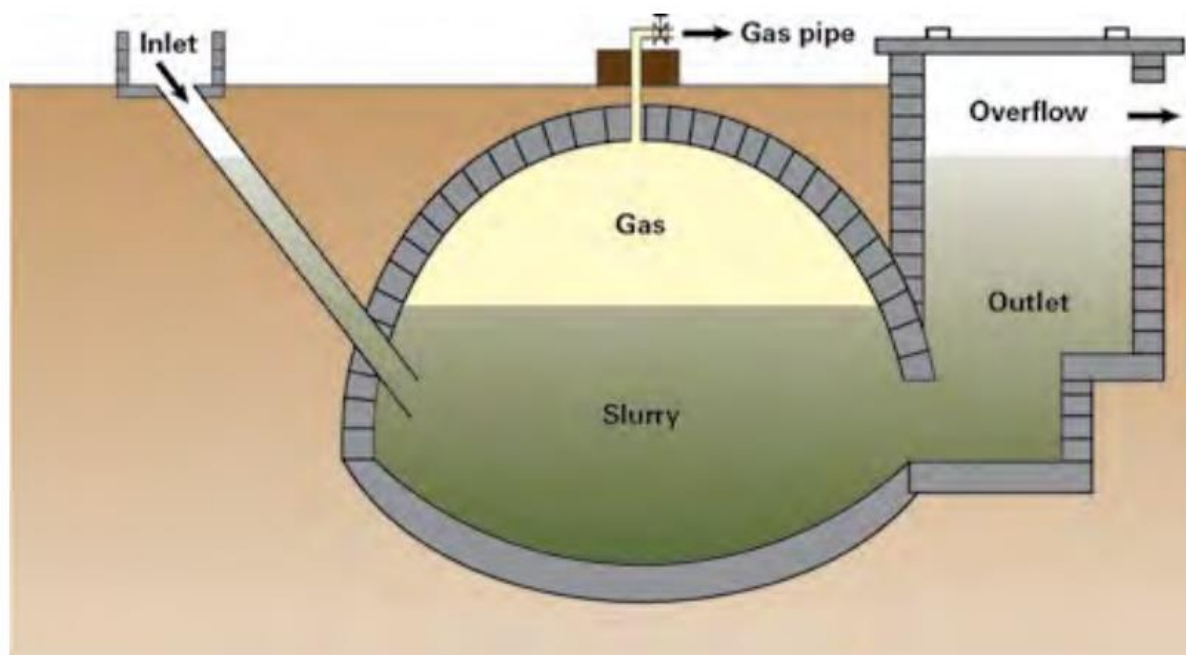


Рисунок 4.2 Схема біогазової установки з фіксованим куполом [37].

Переваги установки:

- ✓ невеликі затрати на будівництво;
- ✓ тривалий термін служби;
- ✓ відсутність рухомих частин та металів, що піддаються корозії;
- ✓ підземне розміщення економить простір та сприяє захисту від коливань температури.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки:

- для забезпечення газонепроникності установки необхідні спеціальні системи захисту;
- тиск газу коливається залежно від об'єму утвореного біогазу;
- недоробки при будівництві призводять до витoku газу;
- для обробки внутрішньої частини газгольдера потрібний спеціальний герметик (наприклад, бджолиний віск, суміш моторного палива);
- складність ремонту, зважаючи на те, що реактор знаходиться під землею.

Установка з плаваючим покриттям (барабаном) складається з циліндричного реактора та рухомого газгольдера. Реактор зазвичай будується під землею, а газгольдер розміщується на поверхні, як показано на рис. 4.3.

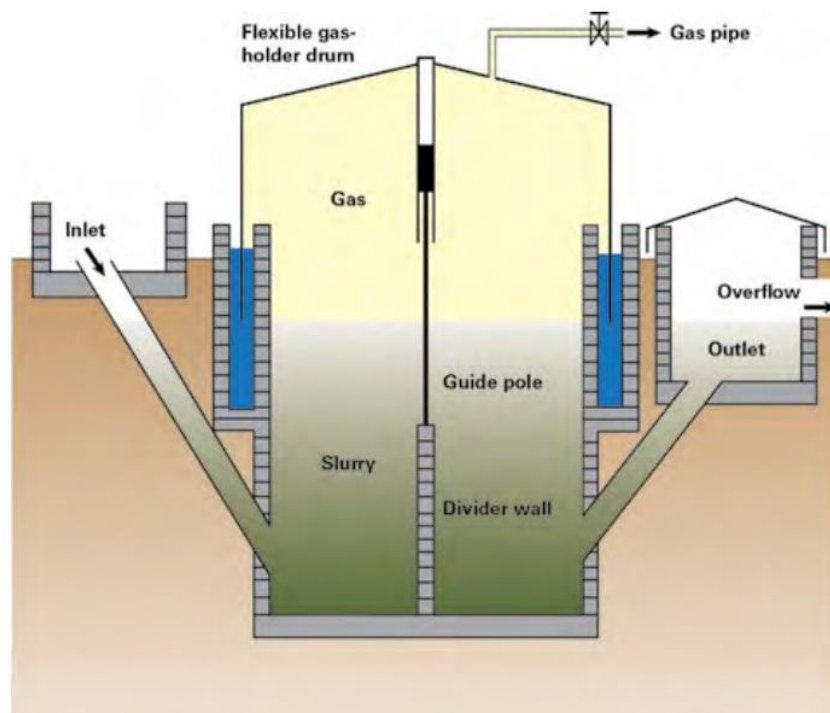


Рисунок 4.3 Схема біогазової установки з плаваючим покриттям [37].

Переваги:

- ✓ простий в управлінні;

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ✓ постійний тиск газу;
- ✓ безпосередньо видно об'єм газу, що зберігається;
- ✓ відносно легкий у конструюванні;
- ✓ помилки при будівництві не призводять до значних збоїв у роботі установки.

Недоліки:

- високі матеріальні затрати для сталевого барабану;
- схильність металевих конструкцій до корозії, що скорочує термін роботи установки;
- регулярні витрати на технічне обслуговування.

Трубчаста установка зображена на рис. 4.4. Вона містить термозварюваний продольний корпус з пластиковим або резиновим покриттям – балон, що слугує і реактором і газгольдером одночасно. Ввідний і вивідний отвори прикріплені безпосередньо до корпусу.

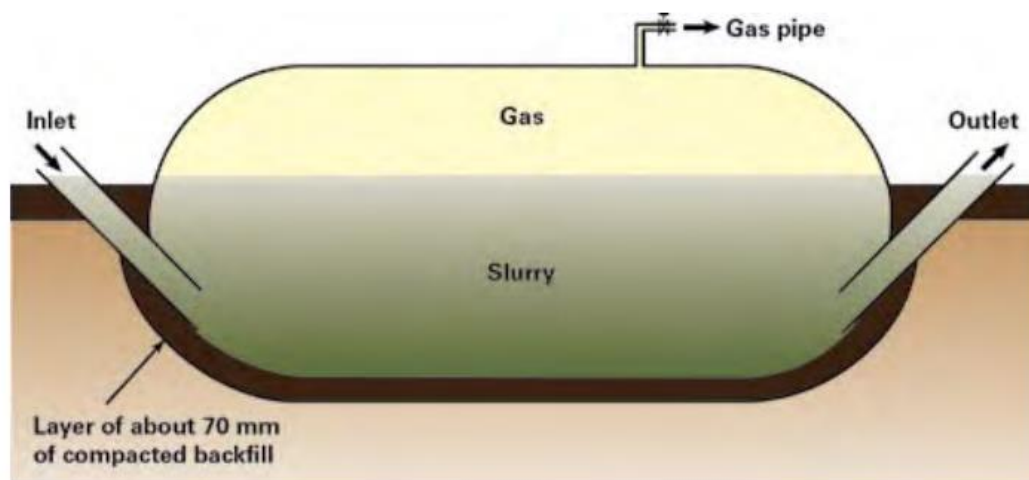


Рисунок 4.4 Схема трубчатого біогазового реактора [37].

Переваги:

- ✓ легкість будівництва;
- ✓ простота транспортування;

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ✓ невисокі будівельні витрати;
- ✓ простота обслуговування;
- ✓ можливість використання на місцевості з високими ґрунтовими водами через невелику глибину занурення.

Недоліки:

- малий термін служби;
- небезпека механічних ушкоджень;
- неможливість видалення збродженого залишку;
- рідко піддається ремонту [37].

Для зброджування відходів життєдіяльності ВРХ та міскантусу обираємо біогазову установку з підземним циліндричним корпусом та газгольдером, розташованим на поверхні.

4.2 Підбір основного та допоміжного обладнання

Техніка для подачі та перемішування субстрату повинна бути узгоджена між собою з метою гарантування успішного вироблення біогазу. *Подача сировини* здійснюється одним із трьох можливих варіантів:

- пряма подача;
- непряма подача;
- резервуар попереднього зберігання.

При застосуванні прямої подачі сировини використовуються системи, зображені на рис. 4.5.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шнекові транспортери використовуються переважно для невеликих БГУ, вони подають тверді матеріали в резервуари через верх. Поршнева система подачі також називається дозуючою станцією.

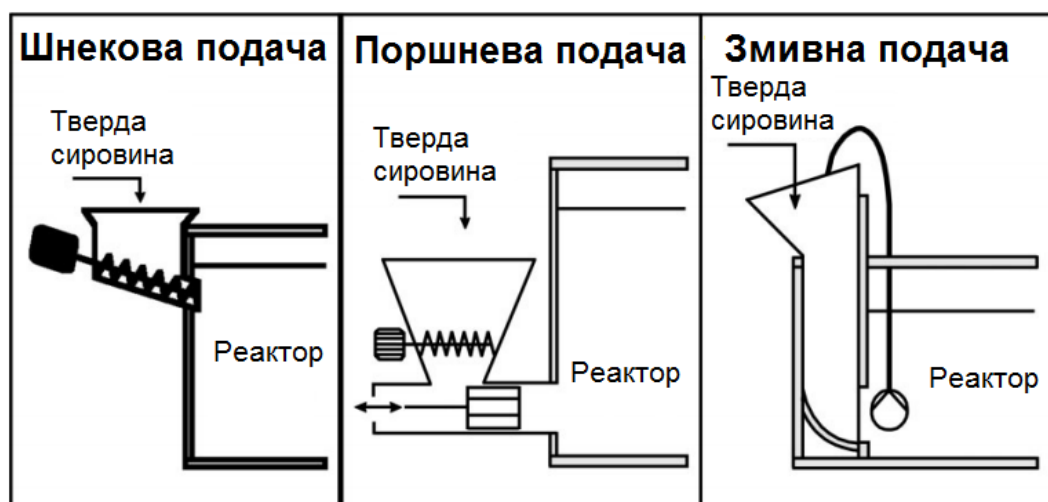


Рисунок 4.5 Типи механізмів прямого завантаження сировини [35].

Із накопичувального резервуару сировина за допомогою транспортувальних пристроїв, таких як конвеєрна стрічка, конвеєр, подаються до реактора. При змивній подачі сировина подається в реактор по мірі того, як зброджується попередня партія субстрату.

Непряма подача – технічні рішення, за яких матеріал вноситься з рідким потоком. Розрізняють змивні шахти, установки для змивання закритого типу, трубопровід для подачі сировини під тиском. При використанні першого технологічного рішення матеріал поступає в шахту, з якої замивається збродженим субстратом, що перекачується. Недоліком пристрою є неможливість порційної подачі з накопиченням і викиди неприємних запахів. На відміну від попереднього пристрою, установки для замивання закритого типу вирішують проблеми порційної подачі та неприємних запахів. Для цього резервуар попереднього зберігання наповнюють, закривають і лише після цього відбувається замивання. Подача твердих субстратів через трубопровід

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під тиском здійснюється за рахунок транспортувального середовища, у якості якого виступає спеціально відведений вміст реактора або рідина з резервуару попереднього зберігання. Сировина проходить через шнеки та подрібнювачі.

Резервуар попереднього зберігання виконує функцію не лише зберігання сировини, а також змішування, подрібнення та з'єднання коферментаційних речовин. За достатнього об'єму резервуар забезпечує роботу біогазової установки шляхом подачі субстрату протягом вихідних чи святкових днів. У деяких випадках рекомендують осад із метантенка завантажувати в цей резервуар, звідки його можна буде видалити чи розбавити водою для вивезення на поля [27].

Найпростішим способом завантаження-вивантаження є спосіб переливу. При завантаженні свіжої порції сировини рівень у реакторі піднімається, зброджена біомаса вивантажується через переливну трубу в еквівалентній кількості. З метою створення гідравлічного затвору, який перешкоджає проникненню повітря, вхідна і вихідна труби розташовані під кутом до осі таким чином, щоб нижній кінець труби знаходився нижче рівня рідини. Труби розміщені на різних сторонах реактора, що сприяє рівномірному розподілу сировини та ефективного вивантаження шламів. Діаметр труб повинен бути не менше 300 мм, щоб уникнути забивання. Для попередньої підготовки сировини із завантажувальною трубою розміщений бункер підготовки субстрату, а вивантажувальна труба з'єднана з ємністю для переробленої маси [46].

Для збродження гнойової маси та косубстрату необхідна попередня обробка сировини, тому найкраще підходить резервуар попереднього зберігання.

Не менш важливим пристроєм БГУ є механізм перемішування. Перемішування сприяє безперешкодному утворенню біогазу, перетворенню всієї сировини, запобігає утворенню кірки та осадженню твердих часток.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мішалки поділяються на механічні, гідравлічні та пневматичні.

Серед типів механічних мішалок існують пропелерна, веслова, мішалки-мотовило. Пропелерні мішалки в свою чергу поділяються на високообертові та низькообертові. Перші здійснюють більше 100 об./хв, другі – менше 100 [27]. Робочі елементи механічних мішалок – це лопаті, шнеки й планки.

Перемішування також може здійснюватися біогазом, який пропускають через шар сировини – пневматичний спосіб. Гідравлічне перемішування здійснюється шляхом перекачування сировини з верхньої зони в нижню за допомогою насоса. Ці два методи більш придатні для використання при зброджуванні субстратів, що легко претікають. Схеми типів перемішування зображені на рис. 4.6.

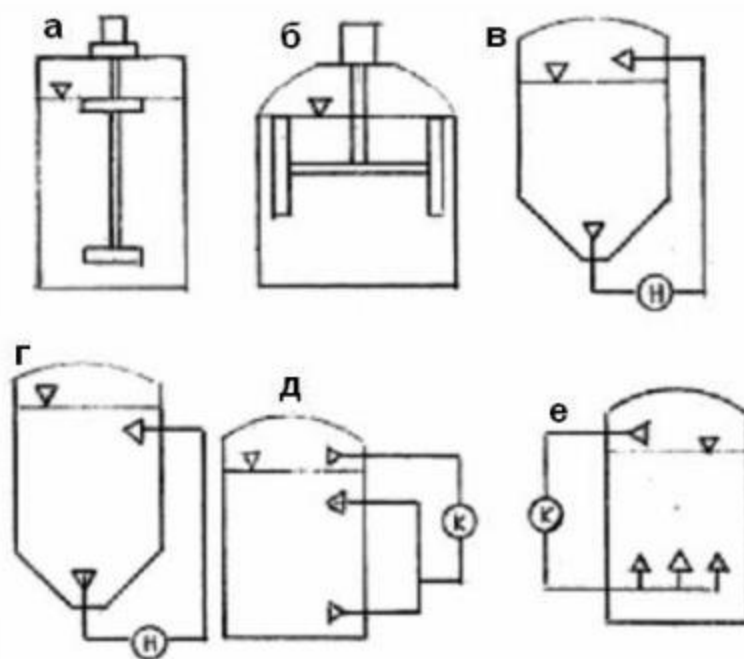


Рисунок 4.6 Способи перемішування сировини:
а, б – механічна мішалка; в, г – перемішування за допомогою насоса (гідравлічна мішалка); д – перемішування біогазом і рідиною; е – перемішування біогазом [46].

Механічна мішалка найкраще підходить для реалізації процесу зброджування нашої сировини. Обираємо пропелерну мішалку.

Механізми підігріву повинен витримувати заданий температурний режим та вирівнювати зовнішні тепловтрати. Найпоширенішою схемою опалення є система з водонагрівальним котлом, що працює на біогазі, електриці й твердому паливі. Теплоносієм слугує гаряча вода температурою близько 60°C. При монтуванні систем опалення необхідно забезпечити подачу гарячого теплоносія в верхню точку та виведення охолодженої води через нижню точку. На трубопроводах мають бути встановлені вентилі для випуску повітря з верхніх точок, а для контролю температури всередині реактора встановлюють термометр [46].

Обігрів метантенка може здійснюватися за допомогою внутрішнього або зовнішнього теплообмінника. За використання зовнішніх теплообмінників субстрат і гаряча вода перекачуються протитоком через теплообмінник. Найчастіше на практиці використовують теплообмінник з подвійною трубою та теплообмінник із спіраллю. У теплообміннику з подвійною трубою гарячий субстрат протікає по центральній трубі і тепло передається гарячій або холодній воді, яка знаходиться в трубі-оболонці. Недоліком таких теплообмінників є складність очистки та великі затрати на неї. Спіральні теплообмінники відрізняються компактністю конструкції при високій потужності. Середовищем також виступає холодна чи гаряча вода. Обладнання легко обслуговується та характеризується довговічністю. Зовнішні теплообмінники застосовують у першу чергу для великих установок (від 10 000 м³/рік) через незначні інвестиції.

Внутрішні теплообмінники можуть розміщуватися в середині реактора або на ньому і працюють за іншим принципом – перекачується лише гаряча вода, а не субстрат. Варіанти розміщення внутрішніх теплообмінників: вмонтовані в днище реактора, вмонтовані в стіну (труби опалення розташовані

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в стіні резервуара або перед стіною). При розміщенні нагрівального пристрою в днищі реактора важним компонентом є наявність мішалки, що забезпечує рівномірність нагрівання [27].

Приймаємо зовнішній теплообмінник, для роботи якого використовується теплота, утворена при спалюванні біогазу в когенераційній установці. Теплоносій подається в теплообмінник за допомогою парового інжектора.

Система відбору біогазу містить газгольдер, трубопроводи, збірник конденсату і запобіжний клапан. Отвір для відводу газу розташовується у верхній частині реактора. У нижній точці газовідводу встановлюється збірник конденсату, після нього запобіжний клапан, що являє собою ємність з водою і забезпечує пропуск газу в одному напрямку. У великих БГУ встановлюють газгольдери – накопичувачі газу. Це сталеві балони розраховані на тиск до 200 кг/см². До газгольдерів газ закачується за допомогою компресора. Газопровід повинен бути обладнаний запобіжно-скидним клапаном. Він випускає біогаз в атмосферу у випадку підвищення тиску більше 0,03-0,035 МПа. Надлишок біогазу спалюють у когенераційній установці (КГУ), за умови очищення основної частини біогазу та подальшої подачі в мережу. В іншому випадку весь об'єм газу спалюється в КГУ, використовуються утворені теплота й електроенергія. Для спалювання достатньо очистки біогазу від сірководню та вологи. Це реалізується за допомогою нагнітання невеликої кількості очищеного повітря безпосередньо в реактор для діяльності бактерій. Відсоток вологи, видаленої за допомогою конденсатозбірника на газопроводах, достатній для подальшого спалювання осушеного біогазу. Когенераційна являє собою систему «Двигун-Генератор», біогаз є паливом для двигуна внутрішнього згорання. Теплова енергія, що утворюється в процесі перетворення енергії газу в механічну, подається безпосередньо до споживання або на потреби обслуговування власне

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

біогазового комплексу. Електрична енергія виробляється генератором когенераційної установки і подіється напряду споживачу або в лінію електропередачі [46].

Контрольні прилади призначені для координації кількості субстрату, відслідковування вмісту сухої речовини, вимірювання температури і рівня рН, проведення замірів кількості біогазу.

Для контролю кількості субстрату встановлюють обладнання у вигляді поплавка за шкалою.

Також можна обладнати бункери накопичування субстрату вагами.

Вміст сухої речовини визначають відбором проб сировини та подальшими дослідженням. Для цього потрібна наявність сушильної шафи чи муфельної печі (для визначення вмісту органічної сухої речовини). Даний показник необхідний для розрахунків виходу біогазу та ступеня розкладу субстрату.

Вимірювання температури безпосередньо в бродильній камері простіше всього за допомогою датчика, вмонтованого в стінку реактора. Автоматизувати процес можна використовуючи електричний температурний датчик із цифровим табло. У випадку використання зовнішнього теплообмінника температуру рекомендовано заміряти на трубопроводі, що виходить з реактора. Окремо необхідно вимірювати температуру опалення на трубопроводах вхідних і вихідних, за допомогою цих даних також можна розраховувати тепловіддачу.

Вимірювання кількості біогазу здійснюють за газового лічильника, який встановлюють після конденсатовідвідника. Монтаж газоміра необхідно здійснювати разом із запірним вентилям. Це дозволяє не припиняти роботу БГУ під час ремонту чи заміни лічильника [46].

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

При експлуатації біогазових установок необхідно дотримуватися певних правил техніки безпеки. Так як біогаз є шкідливим для дихання людини, а установка як промисловий об'єкт може бути небезпечною, якщо порушувати правила безпеки.

Неочищений біогаз є отруйним для людини через присутність сірководню, що володіє сильною токсичною дією і спричиняє задуху. Дія сірководню на організм людини залежно від концентрації наведена у табл. 5.1 Біогаз, очищений від сірки може призвести до смерті через нестачу кисню.

Таблиця 5.1 Токсична дія сірководню [27].

Концентрація в повітрі	Дія
0,03 – 0,15 ppm	Запах протухлих яєць
15 – 75 ppm	Подразнення очей, головний біль, нудота
150 – 300 ppm (0,015-0,03%)	Параліч нервів
>375 ppm (0,038%)	Протягом декількох годин смерть від отруєння
>750 ppm (0,075%)	Протягом 30-60 хв смерть від зупинки дихання
>1000 ppm (0,1%)	Протягом декількох хвилин смерть від паралічу органів дихання
ppm – частинок на мільйон (з англ. parts per million); 1 ppm= 0,0001%	

Вміст біогазу в повітрі від 5% до 15% за наявності джерела спалаху з температурою 600°C може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний за концентрації біогазу в повітрі від 12%. Суворо забороняється куріння та розведення вогню біля установки, зварювальні роботи дозволяється проводити на відстані мінімум 10 м від газового обладнання. Захисні дистанції

					ЕКБ.БЕ61 10.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	Стадія	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Сементя А.П						
Конс.		Козар М.Ю.					67	
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського,		
Затверд.						ФБТ		

орієнтовані на вірогідність вибуху. Нульова зона: постійна небезпека вибуху, який не виникає при нормальній роботі БГУ. Перша зона: періодично виникає небезпека вибуху через наявність різних газів (наприклад, біля горловини продувного трубопроводу). Друга зона: може утворитися вибухонебезпечне середовище із газів. Дані території необхідно вносити в план вибухонебезпечних зон, який подається при планування будівництва та для ознайомлення працівниками. На практиці необхідно відмічати відповідними попереджувальними табличками.

Тиск газу, який подається до споживання, у трубопроводах не має перевищувати 0,15 МПа. Для регулювання подачі газу в реакторі повинні бути встановлені засувки, гідрозатвори, які відключають подачу до магістралі у випадку перевищення норми. Газопроводи мають бути виконані згідно правилам техніки безпеки, постійно має проводитися перевірка на непроникність. Вони повинні бути стійкими до корозії та робочого середовища. Газгольдини повинні мати запобіжники граничного тиску, гідрозатвори мають бути захищені від промерзання та протікання.

Необхідним є заземлення електрообладнання. Опір приводу не має перевищувати 4,0 Ом.

Підприємство повинне мати інструкції по обслуговуванню до кожного виду обладнання та БГУ в цілому у випадку поломки.

Також під час використання біогазового комплексу є санітарна небезпека, джерелом якої виступає сировина. Гноєві стоки характеризуються наявністю яєць гельмінтів, бактерій групи кишкової палички та інших патогенів. Запобіжні заходи необхідні для попередження зараження [27, 46].

Потенційно небезпечними випадками є можливість падіння в ємності, падіння зі сходів, а також ураження струмом від рухомих частин конструкції. Тому, необхідно забезпечити методи захисту: люки та решітки для отворів, ізоляційні покриття для деталей, а також розміщення попереджувальних знаків та проведення інструктажів для персоналу.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист навколишнього середовища здійснюється в сфері підтримання чистоти повітря, водних ресурсів та захисту від шуму. Чистота повітря перш всього стосується мінімізації викидів запахів, шкідливих речовин і пилу.

Будівництво БГУ повинно здійснюватися таким чином, щоб її експлуатація не забруднювала водойми та ґрунтові води. Сировинні матеріали, що використовуються для анаеробного зброджування (гній, фекальні та силосні рідини) становлять собою речовини першого класу водонебезпеки (слабка небезпеки). З метою запобігання забрудненню всі майданчики резервуари, трубопроводи й насосні лінії повинні бути водонепроникними. Необхідно приділяти увагу етапам прийому-передачі сировини та збродженої маси, уникати непередбачених виходів матеріалу та забезпечити збір забрудненої води.

Джерелом шуму на БГУ є транспорт. На більшості сільсько-господарських установок шум спричиняється системою подачі субстрату. Іншим обладнанням, що генерує шум, є обладнання блочної теплоенергетичної станції. Його зазвичай встановлюють у спеціальних приміщеннях зі звукоізоляцією [33].

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто типи сировини для отримання біогазу. Описано відходи життєдіяльності ВРХ та міскантус у якості сировини для отримання біогазу. Обрано співвідношення 5:1. Наведено характеристику біологічного агенту та характеристику отриманого біогазу із заданої сировини.

2. Наведено різні технологічні рішення для реалізації процесу анаеробного зброджування з врахуванням основ процесу та необхідних умов. Описано різновиди біогазових установок та допоміжного обладнання. Обрано технологію отримання біогазу.

3. Проведено основні технологічні розрахунки процесу отримання біогазу та складено матеріальний баланс.

4. Розроблено технологічну та апаратурну схеми отримання біогазу з відходів життєдіяльності ВРХ та міскантусу.

5. Запроектовано реактор об'ємом 1000 м³ для анаеробного зброджування, що задовольняє вимоги технології та здійснені розрахунки, розроблено креслення.

6. Надано основні вимоги охорони праці та захисту навколишнього природного середовища при реалізації процесу отримання біогазу.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Стадія	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Сементя А.П						
Конс.		Козар М.Ю.					70	
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського,		
Затверд.						ФБТ		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мировая экономика и международные экономические отношения: учебник / под ред. В. К. Поспелова. Москва : ИНФРА, 2017. 370 с.
2. Развитие биоэнергетики как решение проблем энергетической и экологической безопасности / Р. М. Нижегородцев и др. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2012. № 42 (183). С. 39-43.
3. Сердюк Т. В., Гурська А. О. Основні положення нової енергетичної стратегії України до 2035 року. *Енергоефективність в галузях економіки України-2017*: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., 11-13 жовтня 2017 р. Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 84-86.
4. Железная Т.А., Морозова А.В. Энергетические культуры как эффективный источник возобновляемой энергии. *Промышленная теплотехника*. 2008. № 3, т. 30. С. 60-67.
5. Cécile B., Fabien F., Benoit G., Bruno M. Biofuels, greenhouse gases and climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA*. 2009. P.1-79.
6. Щурська К. О., Кузьмінський Є. В. Біоенергетика : підручник для студ. спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 304 с.
7. Кухарець С. М., Голуб Г. А. Сировинна база та ефективність біогазу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 212, ч. 1. С. 11-21.
8. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод / В. А. Седнин та ін. *Теплоэнергетика*. 2009. №4. С. 49-58.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сементя А.П			ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Стадія	Арк.
Конс.		Козар М.Ю.					
							71
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

9. Hansen, K. H., Angelidaki I., Ahring B. K. Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia. *Water Research*. 1998. Vol. 32, № 1. P. 5-12.
10. Голуб Н.Б., Козловец А.А. Совместное метановое сбраживание помета домашних птиц и отходов аграрно-промышленных комплексов. *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEЕ)*. 2014. №23. С.67-72
11. Миндубаев А.З., Минзанова С.Т., Скворцов Е.В. Оптимизация параметров выработки биогаза в лабораторном масштабе. *Вестник Казанского технологического университета*. 2009. № 4. С. 233-239.
12. Караева Ю. В., Тимофеева С.С. Исследование процесса анаэробного сбраживания коровьего навоза и растительных отходов. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. С.6-10.
13. Васильев Р.Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им Ю.А. Овчинникова*. 2007. № 3, т. 3. С. 54–61.
14. Цавкелова Е.А., Нетрусов А.И. Получение биогаза из целлюлозосодержащих субстратов (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2012. № 5, т. 48. С. 1–15.
15. Органічна кукурудза / за ред. А. Кравченко, Н. Прокопчук. Київ: Дослідний інститут органічного сільського господарства, 2014. 12 с.
16. Antizar-Ladislao B., Turrion-Gomez J.L. Second-generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 2008. Vol. 2, №5. P. 455–469.
17. Переработка мискантуса китайского / В. В. Будаева та ін. *Ползуновский вестник*. 2009 № 3. С.328-335.
18. Біогаз : навч.-метод. посібник / В. О. Дубровін та ін. Київ: ЮНІДО, 2015. 47 с.
19. Заварзин Г.А., Жилина Т.Н. Сравнительная цитология метаносарцин с описанием *Methanosarcina vacuolata*. *Микробиология*. 1997. № 5, т. 66. С. 669–673.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Попова Л. И. Микробное разложение целлюлозосодержащих субстратов с образованием биотоплива: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.06 / Мос. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Москва, 2019. 162 с
21. Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology / Sieber J.R. and other. Berlin: Springer, 2010. 270 p.
22. Гармаш С.Н. Анаэробная биоконверсия органических отходов в биогаз. *Вопросы химии и химической технологии*. 2013. №6. С. 32-40.
23. Біотехнологічні основи виробництва біогазу / В. М. Поліщук та ін. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування*: зб. наук. праць. Київ, 2013. № 185, ч. 2. С. 289-296.
24. БИОЭНЕРГИЯ. Общая информация. *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe*: веб-сайт. URL: <https://www.fnr.de>.
25. Comparative study on biogas production using cow and swine manure mixed with *Miscanthus x giganteus* as substrate / G. Moiceanu and other. *Romanian Biotechnological Letters*. 2016. Vol. 21, №. 5. P. 11968-11973.
26. Biochemical Methane Potential (BMP) of *Miscanthus Fuscus* for Anaerobic Digestion / E. K. Tetteh and other. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2017. Vol. 7, Issue 12. P. 434-439.
27. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки: практ. пособие. / пер. с нем. И.А. Реддих. 1996. 268с.
28. Семененко И. В., Зинченко М. Г. Оборудование и процессы метанового сбраживания органических отходов : монография. Харків: НТУ «ХПИ», 2012. 272 с.
29. Добрынина О.М., Калинина Е.В. Технологические аспекты получения биогаза. *Охрана окружающей среды*. 2010. С. 33-40.
30. Мамонтов А.Ю. Обоснование параметров технологической схемы «Отходы животноводства – биогаз – электроэнергия». *Вестник КрасГАУ*. 2016. №1. С.58-65.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Утилизация биогаза полигонов твердых бытовых отходов / А.А. Юрченко і др. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2019. №57. С.192 -200.
32. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Основы биогазовых технологий та параметри оптимізації процесу зброджування. *Праці ТДАТУ*. 2009. № 9., т.1. С. 18-28.
33. Руководство по биогазу. От получения до использования / Т. Амон і др. Гюльцов-Прюцен: Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR), 2010. 213 с.
34. Г. А. Голуб, СМ Кухарець Газова автономія. *The Ukrainian Farmer*. 2016. С. 181-182.
35. Weiland P. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in German. *Eng. Life Sci*. 2006. № 3. P.302-309.
36. Полищук В. Н., Самолюк А. В. Исследование влияния температурного режима метантенка на выход биогаза. *SWorld*. 2015. №10. С. 6-18.
37. Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies / Y. Vögelі and other. Dübendorf, 2014. 135 p.
38. Гелету́ха Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В УКРАИНЕ *Аналитическая записка БАУ*. 2013. №4. С. 1-22.
39. Ю. А. Орлова Потенциальные возможности биогазовых установок *Безопасность жизнедеятельности*. 2015. № 6. С. 43-46.
40. Ю. В. Куріс Метаногенез і технолгічні схеми отримання біогазу. *Енергосбережение, энергетика, энергоаудит*. 2011. №10. С. 41-48.
41. Козловець О. А. Біотехнології одержання біогазу при коферментації посліду птахів : дис. ... канд. техн. наук : 03.00.20 / НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Київ, 2017. 189 с.
42. ООО «Молоко Витчизны». *MilkUA.info* : веб-сайт. URL: <http://milkua.info/ru/post/ooo-moloko-vitcizny>.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

43. Таргоня В. С., Оверченко В. В., Щербак Б. В. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах. Київ, 2013. 27 с.
44. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика / под ред. В. Н. Самохина. Москва : Стройиздат, 1981. 639 с.
45. Осмонов О.М. Расчет биоэнергетической установки: методические указания. Москва: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. 68 с.
46. Біогазові технології в Україні. Встановлення та робота біогазових установок. Центр біогазових технологій : веб-сайт <http://biogascenter.googlepages.com>.

					ЕКБ.БЕ6110.ДП	Арк. 75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		